

การวิเคราะห์งานรังกวัดเพื่อเฝ้าระวังสะพานพระรามหก



นายชिरศักดิ์ สุวรรณชาติ

ศูนย์วิทยพัทยาการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN: 974-17-6402-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A SURVEY ANALYSIS FOR RAMA VI BRIDGE MONITORING

Mr. Vasherasak Suwanchartree

**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 2004

ISBN: 974-17-6402-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์งานรังกวัดเพื่อเฝ้าระวังสะพานพระรามหก

โดย

นาย วชิรศักดิ์ สุวรรณชาติ

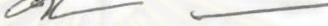
สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

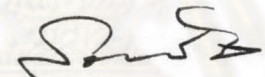
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เขียงวีรชน)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

วชิรศักดิ์ สุวรรณชาติ : การวิเคราะห์งานรังวัดเพื่อเฝ้าระวังสะพานพระรามหก (A SURVEY ANALYSIS FOR RAMA VI BRIDGE MONITORING) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชูเกียรติ วิเชียร เจริญ, 130 หน้า, ISBN 974-17-6402-2

จากผลการวัดสอบสะพานพระรามหกเดิม มีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ในการวัดสอบ สังเกตจากแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนที่มีทิศทางเดียวกัน การศึกษาจะศึกษาถึงขนาดและที่มาตลอดจนผลกระทบของความคลาดเคลื่อนที่มีต่อค่าพิกัดหมุดถาวรบนตอม่อ จากนั้นวิเคราะห์ถึงวิธีการรังวัดที่ทำให้ค่าความถูกต้องดีขึ้น

งานศึกษานี้ได้นำข้อมูลจากการวัดสอบสะพานพระรามหก มาทำการวิเคราะห์ก่อนและหลังการปรับแก้ค่า Scale Factor, Refraction Error และ First Velocity Correction และใช้วิธีการทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม, ลีสท์สแควร์ และ ลีสท์สแควร์ (Outlier Rejection) ผลจากการทดสอบพบว่า การนำข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้มาคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตอม่อ จะส่งผลทำให้ผลการรังวัดมีค่าความถูกต้องที่ดีกว่าการนำข้อมูลจากสนามมาคำนวณค่าพิกัดโดยไม่ผ่านการปรับแก้ Scale Factor, Refraction Error และ First Velocity Correction จากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการวัดสอบแต่ละวิธีทั้ง 3 วิธี ผลจะเห็นได้ว่าการคำนวณโดยวิธี ลีสท์สแควร์ (Outlier Rejection) และวิธีลีสท์สแควร์ จะให้ผลที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม ดังนั้นการปรับแก้ข้อมูล และการรังวัดวิธี ลีสท์สแควร์ (Outlier Rejection) หรือวิธีลีสท์สแควร์จึงมีความเหมาะสมกับการหาการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานพระรามหก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

4470502721: MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD: GPS/TOTAL STATION/ENGINEERING STRUCTURE MONITORING

VASHERASAK SUWANCHARTREE: A SURVEY ANALYSIS FOR RAMA VI BRIDGE MONITORING.

THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.DR. CHUGIAT WICHIENTHAROEN, 130 pp., ISBN 974-17-6402-2

From the result of a survey analysis for RAMA VI Bridge Monitoring, it was found that there were some errors resided in the observation. It was noticeable from the errors having the same direction. The study focuses on the magnitude and original sources of error including the effects on the coordinates of the bridge's pillars permanent benchmarks. Then the survey method is analyzed to obtain a better accuracy.

In this study uses the existing data of the RAMA VI Bridge Monitoring were used. The data were analyzed twice i.e. before and after applied the corrections of scale factor, atmospheric refraction and first velocity. The survey techniques used in this study consist of common point averaging , least squares and least squares with outlier rejection . The result can be found that the data after applying correcting gives better accuracy than The without applying corrections. In comparison of the accuracy obtained from 3 survey techniques, it can be concluded that the calculation using least square and least square with outlier rejection gives better accuracy than common point averaging. Therefore the most efficiency survey technique to monitor the movement of RAMA VI Bridge Structure is network survey

Department.....Survey Engineering.....Student's signature.....*Vasherasak S.*
 Field of study.....Survey Engineering.....Advisor's signature.....*Chugiat W.*
 Academic year.....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในงานวิจัย ตลอดจนแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ อาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิศวกรรมสำรวจ คุณเดชา มุนติเก และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและอุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	ง
บทคัดย่ออังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดดาวเทียม GPS ด้วยวิธีรังวัดแบบสถิติ.....	17
2.1.1 ความคลาดเคลื่อนวง โคจรดาวเทียม.....	17
2.1.2 ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับ.....	17
2.1.3 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการหักเหในชั้นบรรยากาศ.....	18
2.1.4 ความคลาดเคลื่อนจากคลื่นสะท้อน.....	19
2.1.5 ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณ.....	20
2.2 ความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดโดยใช้กล้องแบบประมวลผล.....	20
2.2.1 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดมุมราบ.....	21
2.2.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดมุมสูง.....	27
2.2.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดระยะ โดยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์.....	29
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.2 ความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขณะการรังวัด.....	33
3.2.1 ความสามารถในการส่องกล้อง.....	34
3.2.2 การหักเหของแสงที่มีผลต่อการทำการรังวัดมุมสูง.....	35
3.2.3 ความคลาดเคลื่อนจากการตั้งกล้องในการทำงานใช้ขากล้องแบบ Forced Centering.....	41

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน.....	43
3.4 การคำนวณค่าพิคคของหมุดถาวรบนตะม่อ.....	51
3.4.1 ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....	54
3.4.2 ลิสท์สแควร์.....	59
3.4.3 ลิสท์สแควร์แบบที่2.....	61
3.4.4 ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	73
3.4.5 การปรับแก้วิธี ลิสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	74
3.4.6 การปรับแก้วิธี ลิสท์สแควร์ เพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	77
3.4.7 การคำนวณค่าพิคคหมุดถาวรบนตะม่อ โดยใช้วิธี ลิสท์สแควร์แบบที่2 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	82
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	93
4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าพิคคหมุดถาวรก่อนการตรวจแก้.....	93
4.1.1 วิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....	94
4.1.2 วิธี ลิสท์สแควร์.....	95
4.1.3 วิธี ลิสท์สแควร์แบบที่2.....	96
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าพิคคหมุดถาวรหลังการตรวจแก้.....	97
4.2.1 วิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....	97
4.2.2 วิธี ลิสท์สแควร์.....	98
4.2.3 วิธี ลิสท์สแควร์ เพิ่มค่าสังเกต.....	99
4.2.4 วิธี ลิสท์สแควร์แบบที่2.....	100
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าผลต่างของแต่ละวิธีการคำนวณ ก่อนและหลังการตรวจแก้.....	100
4.4 ผลการเปรียบเทียบ ลิสท์สแควร์แบบที่2 กับการคำนวณการแพร่ของ ความคลาดเคลื่อน (Error Propagation) และข้อมูลที่วัดสอบเก่า.....	102
4.4.1 เปรียบเทียบผลการวัดสอบเก่า(การไฟฟ้าฯ) และการแพร่ของความคลาดเคลื่อน.....	103
4.4.2 เปรียบเทียบผลการคำนวณวิธี ลิสท์สแควร์ แบบที่2 และการแพร่ของ ความคลาดเคลื่อน.....	103
4.4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณวิธี ลิสท์สแควร์ แบบที่2 และ ผลการรังวัดเดิม.....	103
4.5 ขนาดของการเคลื่อนของตัวตะม่อสะพานพระรามหก.....	104

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 Network Reliability Measures.....	105
4.6.1 Internal Reliability.....	105
5. ผลการศึกษา.....	108
5.1 ข้อสรุป.....	108
5.1.1 ความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของแสงที่มีผลต่อการวัดมุมสูง	108
5.1.2 ความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของแสงที่มีผลต่อการวัดระยะด้วยเครื่อง วัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (EDM).....	108
5.1.3 ผลการเปรียบเทียบการคำนวณค่าพิกัดแต่ละวิธี.....	109
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	111
รายการอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก.....	116
ก. ภาพตัวอย่างของลักษณะปัจจุบันของสะพานพระรามหก และหมุดควบคุม.....	117
ข. ตารางความสัมพันธ์ต่าง ๆ.....	121
ค. แสดงค่าการรังวัดที่ได้จากการวัดสอบสะพานพระรามหก.....	124
ง. แสดงผลการคำนวณ โดยโปรแกรม.....	128
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงวันที่ทำการวัดสอบ โดยใช้ Mini-Prism เป็นเป้า.....8
ตารางที่ 2.2	แสดงการเปรียบเทียบผลต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าพิกัดตะวันออก ที่ทำการรังวัดแต่ละครั้ง.....10
ตารางที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบผลต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าพิกัดเหนือที่ทำการรังวัดแต่ละครั้ง...11
ตารางที่ 2.4	แสดงการเปรียบเทียบผลต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าความสูงที่ทำการรังวัดแต่ละครั้ง.....12
ตารางที่ 2.5	แสดงค่าพิกัดของหมุดถาวร โดยใช้เป้าปริซึมแบบปกติ.....16
ตารางที่ 2.6	แสดง Centering Error แยกแต่ละชนิดเครื่องมือที่ใช้23
ตารางที่ 2.7	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลกระทบของ Centering Error.....25
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการส่องกล้องของ 3 คน คนละ 2 ชุด.....35
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าผลต่างของค่าสูงสุดต่ำสุดของมุมสูงที่รังวัด บริเวณสะพานพระรามหก.....39
ตารางที่ 3.3	แสดงผลการคำนวณค่าแก้เพื่อนำไปตรวจแก้ค่าความสูง.....41
ตารางที่ 3.4	แสดงผลการรังวัดการตั้งกล้องโดยใช้วิธี Intersection ที่ตั้งขากล้องแบบ Forced Centering.....42
ตารางที่ 3.5	แสดงผลการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนรังวัดโดยใช้กล้องแบบ ประมวลผล Leica TC 170049
ตารางที่ 3.6	แสดงผลการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน โดยใช้ความละเอียดถูกต้อง ของกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000.....51
ตารางที่ 3.7	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย น พ.ศ. 2518 ของหมุดควบคุม.....52
ตารางที่ 3.8	แสดงผลการวัดสอบครั้งที่ 1 และค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ.....55
ตารางที่ 3.9	แสดงค่าเฉลี่ยจากการวัดสอบสะพานพระรามหก ครั้งที่แรก.....56
ตารางที่ 3.10(ก)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....57
ตารางที่ 3.10(ข)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....58
ตารางที่ 3.11(ก)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์.....60

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.11(ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์.....	61
ตารางที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของการคำนวณ โครงข่ายสำรวจในการวัดสอบแต่ละครั้ง.....	65
ตารางที่ 3.13 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์.....	66
ตารางที่ 3.13 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์.....	67
ตารางที่ 3.14 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 1 มาตรฐานแก้.....	69
ตารางที่ 3.15 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 2 มาตรฐานแก้	70
ตารางที่ 3.16 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 3 มาตรฐานแก้	71
ตารางที่ 3.17 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 4 มาตรฐานแก้	72
ตารางที่ 3.18(ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่า พิกัด แต่ละครั้ง โดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	73
ตารางที่ 3.18(ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	74
ตารางที่ 3.19(ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	76
ตารางที่ 3.19(ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่าง ค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	77
ตารางที่ 3.20 แสดงระยะทางที่ทำการวัดระยะระหว่างตะม่อ.....	78
ตารางที่ 3.21 แสดงผลการรังวัดระยะระหว่างตะม่อถึงตะม่อ รังวัดเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2547.....	79
ตารางที่ 3.22 แสดงผลการวัดสอบเพื่อเพิ่มสมการค่าสังเกตเท่าที่จะสามารถทำการรังวัดได้.....	79
ตารางที่ 3.23 แสดงจำนวนสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom ของการรังวัดแต่ละครั้ง.....	80

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.24(ก)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	81
ตารางที่ 3.24 (ข)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	82
ตารางที่ 3.25	แสดงจำนวนสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom ของการรังวัดแต่ละครั้ง....	88
ตารางที่ 3.26(ก)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	90
ตารางที่ 3.26(ข)	แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	91
ตารางที่ 4.1	แสดงค่า Standard deviation และ ค่าเฉลี่ยของผลต่าง เปรียบเทียบกันแต่ละวิธี.....	101
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลเก่า และผลการทดลอง.....	102
ตารางที่ 4.3	แสดงค่า Redundancy Number (f) ของโครงข่ายแต่ละชนิด.....	106
ตารางที่ 4.4	แสดงค่า Redundancy Number ของแต่ละโครงข่าย.....	107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงภาพสะพานพระรามหกในปัจจุบัน.....	2
รูปที่ 1.2 แสดงแผนผังตำแหน่งหมุดควบคุมและจุดที่ใช้ในการวัดสอบสะพานพระรามหก.....	3
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ Mini-Prism.....	9
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเชื่อมศูนย์ของ Mini-Prism	9
รูปที่ 2.3 แสดงค่าต่างจากค่าเฉลี่ยระยะตะวันออกของการวัดสอบแต่ละครั้ง.....	13
รูปที่ 2.4 แสดงค่าต่างจากค่าเฉลี่ยระยะเหนือของการวัดสอบแต่ละครั้ง.....	14
รูปที่ 2.5 แสดงค่าต่างจากค่าเฉลี่ยความสูงของการวัดสอบแต่ละครั้ง.....	14
รูปที่ 2.6 แสดงลำดับการศึกษาทั้งหมด.....	31
รูปที่ 3.1(ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง กับเวลาที่ทำการรังวัด เมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546.....	36
รูปที่ 3.1(ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง กับเวลาที่ทำการรังวัด เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2546.....	37
รูปที่ 3.2(ก) แสดงความสัมพันธ์ค่ามุมสูงของแต่ละตะม่อทอนด้วยค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละวันที่รังวัด และอุณหภูมิรังวัดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546.....	38
รูปที่ 3.2(ข) แสดงความสัมพันธ์ค่ามุมสูงของแต่ละตะม่อทอนด้วยค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละวันที่รังวัด และอุณหภูมิรังวัดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2546.....	38
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะพฤติกรรมของการหักเหของคลื่นจากตำแหน่งที่ตั้งกล้องส่องถึงเป้า.....	39
รูปที่ 3.4 แสดงการทำงาน แบบ Intersection เพื่อหาค่าพิกัดจุดไม่ทราบค่า.....	42
รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนที่มาของค่าที่นำมาคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน.....	43
รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบแต่ละวิธีการวัดสอบ ก่อนและหลังการตรวจแก้.....	53
รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการคำนวณ โดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....	54
รูปที่ 3.8 แสดงค่าพิกัดที่ได้จากการวัดสอบทั้ง 4 ครั้งของหมุดดาวบนตะม่อ A.....	59
รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานวิธี ลีสท์สแควร์.....	62
รูปที่ 3.10 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1.....	63
รูปที่ 3.11 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2.....	63
รูปที่ 3.12 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 3.....	64
รูปที่ 3.13 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 4.....	64

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของโครงข่ายสำรวจ.....	83
รูปที่ 3.15 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน ลิสท์สแควร์แบบที่2 โดยใช้ข้อมูล หลังปรับแก้ Refraction.....	84
รูปที่ 3.16 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	85
รูปที่ 3.17 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	86
รูปที่ 3.18 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 3 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	86
รูปที่ 3.19 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 4 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	87
รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของโครงข่ายสำรวจที่ใช้ในการวัดสอบสะพานพระรามหก.....	89
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม.....	94
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ลิสท์สแควร์.....	95
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ลิสท์สแควร์แบบที่2.....	96
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	97
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ลิสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	98
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ลิสท์สแควร์ เพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	99
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าต่าง ระยะตะวันออก และระยะเหนือ กำหนดโดย วิธี ลิสท์สแควร์แบบที่2 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction.....	100
รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการหาค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง.....	105