บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 ข้อสรุป

จากการศึกษาข้อมูลการวัดสอบของการไฟฟ้าฯ และการทดลองในการศึกษานี้ถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับการรังวัดพบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับการวัดสอบโครงสร้างสะพานพระรามหก เนื่องมาจากสาเหตุหลัก 2 ประการได้แก่

5.1.1 ความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของแสงที่มีผลต่อการวัดมุมสูง

เนื่องจากบริเวณที่ทำการวัดสอบอยู่ในบริเวณแม่น้ำซึ่งส่งผลให้การส่องกล้องไปยังเป้า (หมุดถาวรบนตะม่อ) เกิดความคลาดเคลื่อนต่อการรังวัดมุมสูงดังผลการทดลองในหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งผู้ทำการทดลองทำการรังวัดมุมสูงจากหมุดควบคุมไปยังหมุดถาวรบนตะม่อตลอดทั้งวัน จากนั้นนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างมุมสูงกับอุณหภูมิและเวลา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าขนาดของความคลาดเคลื่อนนอกจากจะขึ้นกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศขณะรังวัด ผลสรุปขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับค่าความสูงดังตารางที่ 3.3

ดังนั้นสาเหตุแรก(ความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของแสงที่มีผลต่อการวัดมุมสูง) สามารถแก้ไขได้โดย ทำการวัดความดันบรรยากาศ อุณหภูมิกระเปาะเปียก/กระเปาะแห้งขณะรังวัด จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าแก้ความสูงจากสมการที่ 3.2 ผลของการคำนวณค่าแก้ดังตารางที่ 3.3

5.1.2 ความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของแสงที่มีผลต่อการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (EDM)

เนื่องจากวิธีการรังวัดของเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์(EDM)รังวัดโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านอากาศ ทำให้ความเร็วของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามดัชนี

การหักเหของสภาพบรรยากาศในขณะทำการรังวัด สาเหตุจากความคลาดเคลื่อนจากการหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแก้ไขโดยทำการวัดความดันบรรยากาศ อุณหภูมิขณะรังวัด และบันทึกชนิดของเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (EDM) เพื่อนำมาปรับแก้ก่อนจะนำไปคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ เพื่อตรวจหาการเคลื่อนตัวในลำดับต่อไป

นอกจากสาเหตุสองสาเหตุข้างต้นแล้วความคลาดเคลื่อนที่เกิดกับการวัดสอบสะพานพระรามหกซึ่งเหมือนกับการรังวัดสำรวจทั่ว ๆไป (Sighting Error, Leveling Error, Centering Error, etc) ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ โดยใช้หลักการแพร่ของความคลาดเคลื่อนคำนวณหาค่าผลกระทบตามตารางที่ 3.5 สำหรับการทดลองนี้ใช้กล้อง TC 1700 และตารางที่ 3.6 สำหรับการรังวัดโดยกล้อง TDM 5000 (ข้อมูลเก่าของการไฟฟ้า ฯ)

จากการเปรียบเทียบข้อมูลจากการรังวัดเก่าของการไฟฟ้าฯ และข้อมูลจากการทดลองนี้ จากตารางที่ 4.2 เห็นได้ชัดว่าผลการรังวัดเดิมได้ผลที่มีค่าความถูกต้องดีกว่าผลการทดลอง โดยดูได้จากค่า Standard Deviation ผลการทดลองมีค่ามากกว่าข้อมูลเก่าอยู่ 3 มิลลิเมตร ค่า Mean of Difference ผลการทดลองมีค่ามากกว่าข้อมูลเก่าอยู่ 1 มิลลิเมตร จากผลการเปรียบเทียบข้างต้นเห็นได้ว่าข้อมูลการวัดสอบเดิมมีค่าดีกว่าการทดลองในการศึกษานี้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำค่าการแพร่ของความคลาดเคลื่อนจากตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 สามารถเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของข้อมูลการรังวัดเดิมของการไฟฟ้าฯ และข้อมูลจากการทดลองในการศึกษานี้ เห็นได้ว่าค่าการรังวัดเดิมมีผลกระทบจากค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าการรังวัดในการทดลองนี้ เป็นสาเหตุให้ค่าพิกัดหมุดถาวรที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าข้อมูลเก่าของการไฟฟ้าฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 ผลการเปรียบเทียบการคำนวณค่าพิกัดแต่ละวิธี

จากการศึกษานี้ผลการประเมินความถูกต้องของวิธีการรังวัดทุกวิธี แสดงให้เห็นว่าการคำนวณงานรังวัดโดยนำข้อมูลจากการวัดสอบมาปรับแก้ (Scale Factor, First Velocity Correction และ Refraction Error) ทุกวิธีค่า Standard Deviation และค่าผลต่างก่อนการปรับแก้มีค่ามากกว่าหลังการปรับแก้ทั้งสิ้น ยกเว้นสำหรับวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วมค่า Standard Deviation ก่อนการปรับแก้ระยะทางมีค่าน้อยกว่าหลังปรับแก้อยู่ 1 มิลลิเมตร ส่วนค่าผลต่างของการรังวัดนั้นมีค่าเท่ากันทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ จึงสรุปได้ว่าการนำข้อมูลจากการวัดสอบมาปรับแก้ (Scale Factor , First Velocity

Correction และ Refraction Error) ส่งผลให้ค่าความถูกต้องของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ และการวัดสอบมีความถูกต้องมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของการวัดสอบ ทั้ง 3 วิธีจากตารางที่ 4.1 โดยนำเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการปรับแก้มาคำนวณ (ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม, ลีสท์สแควร์ และ ลีสท์สแควร์แบบที่ 2) สามารถสรุปได้เป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ค่าผลต่างของค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อจากแต่ละครั้งของการวัดสอบ

สำหรับค่าผลต่างของการรังวัดในแต่ละครั้ง เมื่อนำค่า Standard Deviation ของผลต่างมาเปรียบเทียบ เรียงลำดับจากน้อยไปมากเริ่มจาก ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 (0.008 mm.) น้อยกว่า ลีสท์สแควร์ Add Observation (0.009 mm.) เท่ากับ ลีสท์สแควร์ (0.009 mm.) น้อยกว่าวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม (0.011 mm.) ดังนั้นจากข้อมูลการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า การคำนวณหลังปรับแก้ข้อมูลรังวัด และคำนวณ ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 จะให้ผลที่ดี และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งหมด ในขณะที่วิธี ลีสท์สแควร์ ให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากขึ้นกว่า ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 และวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วมให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด

สำหรับขนาดของผลต่างในการวัดสอบแต่ละครั้ง เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบ เรียงลำดับจากน้อยไปมากเริ่มจาก ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 (0.006 mm.) เท่ากับ ลีสท์สแควร์ (0.006 mm.) น้อยกว่า Least Square Add Observation (0.007 mm.) เท่ากับวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม (0.007 mm.) ดังนั้นจากข้อมูลการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า การคำนวณหลังปรับแก้ข้อมูลรังวัด และคำนวณ ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 จะให้ผลที่ดี และมีค่าผลต่างที่น้อยกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งหมด ในขณะที่วิธี ลีสท์สแควร์ ให้ค่าความต่างที่มากขึ้น และวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วมให้ค่าความต่างมากที่สุด

ดังนั้นจากข้อสรุปข้างต้นในการวัดสอบโครงสร้างทางวิศวกรรมควรปรับแก้ค่าการหักเหของแสงก่อน และ ใช้วิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 เป็นลำดับแรก และ ลีสท์สแควร์ เป็นลำดับต่อมา ถ้ามีข้อจำกัดในการทำงาน

2. ความสามารถในการตรวจจับค่า Blunder Error ของวิธีการทำงาน

ถึงแม้ว่าจากข้อสรุปข้อที่ 1 สรุปว่าวิธีการรังวัดและคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 เป็นวิธีทำการวัดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ความสามารถในการตรวจจับ Blunder Error ของโครงข่าย (Internal Reliability) ในโครงข่ายก็แสดงถึงคุณภาพของโครงข่ายที่ทำการรังวัด สำหรับโครงข่ายที่ผู้ทดลองใช้ในการวัดสอบมีค่า Redundancy Number (f) เฉลี่ยเท่ากับ 0.8 ซึ่งโดยปกติสำหรับ Geodetic Network มีค่า Redundancy Number (f) ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.3 แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายที่ใช้ในการวัดสอบการเคลื่อนตัวของสะพานในขณะนี้มีประสิทธิภาพดีพอในการวัดสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานพระรามหก

ดังนั้น จะเห็นว่าค่า Redundancy Number ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การเพิ่มค่าความถูกต้องในการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ โดยการเพิ่มสมการค่าสังเกตจะไม่ส่งผลให้ผลการรังวัดมีค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นมากเท่าใดนักและเกินความจำเป็นไปบ้าง ทั้งนี้เพราะค่า Redundancy Number (f) โดยเฉลี่ยมีเท่ากับ 0.8 ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ของ Geodetic Network ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องเพิ่มค่าสังเกตที่ดีเพิ่มเข้าไปในโครงข่ายอีก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าผลจากงานศึกษานี้จะสามารถแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้ก่อนนำมาคำนวณวิธีลีสท์สแควร์แบบที่ 2 จะเพิ่มความถูกต้องของค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อได้ตามวัตถุประสงค์ของงานศึกษา แต่ก็ยังมีข้อเสนอแนะที่น่าสนใจสำหรับที่จะทำการศึกษาต่อไปในอนาคตดังนี้

ด้านเทคนิค

1. จากการศึกษาในหัวข้อ 2.2.1 สำหรับ Centering Error จุดที่ตั้งกล้องมีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร/เมตร จากตารางที่ 2.6 เห็นได้ว่าสามารถเพิ่มค่าความถูกต้องโดยทำ Pillar ลักษณะเดียวกับหมุดถาวรบนตะม่อเป็นจุดตั้งกล้องซึ่งมีค่า Centering Error สำหรับ Pillar เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร ทำให้ค่าความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นในส่วนของ Centering Expected Error ซึ่งจะส่งผลให้ได้ค่าความถูกต้องของการวัดสอบดีขึ้นเช่นกัน ทั้งยังเพิ่มความสะดวก ในการทำงานอีกด้วย

2. จากการทำการวัดสอบสะพานพระรามหก ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความปลอดภัยของโครงสร้าง และการวัดสอบมีความละเอียดถูกต้องสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการศึกษานี้ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีผู้มีความรู้ และเชี่ยวชาญในการควบคุมงานการสำรวจรังวัด ตลอดจนขั้นตอนของการคำนวณหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ เพื่อตรวจติดตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานพระรามหก

3. ในการประเมินผลการเคลื่อนตัวของตะม่อสะพานพระรามหกที่ต้องการความละเอียดสูงนั้นจำเป็นอย่างมากที่จะใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่ความต้องการทราบขนาดของการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อการแพร่ของความคลาดเคลื่อน แสดงให้เห็นว่ากล้องแบบประมวลผลทั้งสองชนิดให้ความถูกต้องต่างกัน ซึ่งผลการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนกล้องแบบประมวลผล TDM 5000 ทางราบค่าเฉลี่ยประมาณ 2 มิลลิเมตร ทางดิ่งค่าเฉลี่ยประมาณ 3.5 มิลลิเมตร สำหรับกล้องแบบประมวลผล TC 1700 ทางราบค่าเฉลี่ยประมาณ 4 มิลลิเมตร ทางดิ่งค่าเฉลี่ยประมาณ 6 มิลลิเมตร

4. ในการทำการศึกษานี้ไม่ได้นำเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานไปทำการ Calibration ก่อนนำมาทำการวัดสอบ สำหรับการทำการรังวัดครั้งต่อจากนี้ ก่อนจะทำการวัดสอบควรจะนำเครื่องมือที่ใช้งานไป Calibration ก่อนนำมาทำการวัดสอบโครงสร้างสะพานพระรามหก ต่อไป

ด้านการนำเสนอ

1. ข้อมูลที่เกี่ยวกับการวัดสอบที่นำเสนอควรประกอบด้วย

- ภาพพื้นที่โดยรวมของการวัดสอบ
- ค่าพิกัดทั้งหมดของหมุดควบคุมที่มีอยู่
- เครื่องมือที่ใช้งาน
- ข้อมูลทางการสำรวจ เช่น Redundancy Number, Observation weight
- วิธีการคำนวณ และผลลัพธ์ของการคำนวณ รวมถึงค่าจากการ Calibration

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ข้อมูลที่เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

- แบบที่แสดงการการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ

- บริเวณที่มีความเสี่ยงสูง ข้อมูลจากการวัดสอบควรจะระบุถึงบริเวณพื้นที่หรือโครงสร้างที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายสูงเพื่อจะต้องเพิ่มความระมัดระวังในบริเวณนั้นให้เพิ่มมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย