

การศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์  
ภาคพื้นดิน

นายณัฐสรณ์ คุปตะวาณิช



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study of Scanning Geometry Factors Affecting the Accuracy of Terrestrial Laser  
Scanner

Mr. Nattasorn Kruptawanich



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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
โดย	นายณัฐสรณ์ คุปตะวาณิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน)

.....กรรมการ  
(ดร.ชงทิต ฉายากุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ภีระ ยมวัน)

ณัฐสรณ์ คุปตะวานิช : การศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (A Study of Scanning Geometry Factors Affecting the Accuracy of Terrestrial Laser Scanner) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. วิชัย เยี่ยงวีรชน, 142 หน้า.

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner, TLS) เป็นเครื่องมือรังวัดจุดตำแหน่งพิกัด 3 มิติภาคพื้นดิน ที่ให้ข้อมูลจุดพิกัดจำนวนมากและมีความถูกต้องสูง เรียกว่า พอยท์คลาวด์ (point cloud) ได้ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม และสถาปัตยกรรม จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการรังวัดโดยคำนึงถึงความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ต้องการเป็นสำคัญ ซึ่งปัจจัยความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ได้แก่ ระยะห่างระหว่างวัดกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน นอกจากนี้ยังพิจารณากระบวนการรังวัดที่เป็นกระบวนการสำคัญในการจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์ คือ การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (direct georeferencing) และการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (indirect georeferencing) สำหรับงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกนโดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองโดยแบ่งกรณีศึกษาสำหรับปัจจัยด้านระยะห่างระหว่างวัดกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินออกเป็น 5 ระยะ ตั้งแต่ 30 ถึง 150 เมตร ส่วนปัจจัยเรื่องจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบ่งเป็น 1 2 และ 3 สถานีที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร โดยศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างกระบวนการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงและทางอ้อมทุกกรณี จากนั้นด้วยการตรวจสอบกับค่าพิกัดจุดตรวจสอบ (checkpoints) และทำการทดสอบผลทางสถิติ พบว่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ลดลงเมื่อระยะการสแกนมากขึ้น ทั้งนี้หากต้องการให้ข้อมูลพอยท์คลาวด์มีความถูกต้องสูงขึ้นต้องรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมหรือเพื่อจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเพื่อให้ข้อมูลพอยท์คลาวด์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5770501621 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: TERRESTRIAL LASER SCANNER / GEOREFERENCING / POINT CLOUD / SCANNING GEOMETRY

NATTASORN KRUPATWANICH: A Study of Scanning Geometry Factors Affecting the Accuracy of Terrestrial Laser Scanner. ADVISOR: ASSOC. PROF. VICHAI YIENGVEERACHON, 142 pp.

Terrestrial laser scanning (TLS) is a ground-based instrument to measure the three dimension point of objects. TLS capture a lot of high-accuracy spatial points called point cloud which applied in engineering and architecture projects. It has to be planned to surveying the accuracy of the point cloud. The scanning geometry factors of affecting the accuracy of point cloud are the distance of scanning and the number of TLS stations. Also, the measuring process is an important process in the point cloud data management has two methods which are direct georeferencing and indirect georeferencing. The purpose of this thesis is to assess the accuracy of analysis of factors affecting the geometry accuracy of point cloud from TLS. The experimental design case study, the first, the distance of scanning range from 30 to 150 meters. The second factor is the number of TLS stations that one, two and three stations are a scanning range from 30 and 90 meters, By comparison, between direct georeferencing and indirect georeferencing, in all case studies. Then, checking the point cloud with checkpoints and showing the statistical test results. The experimental results the accuracy of point cloud decreases when increasing the distance of scanning. If it wants to increase the accuracy of point cloud, it'll use indirect georeferencing or add the TLS stations that the point cloud density is increased.

Department: Survey Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชัย เยี่ยงวีรชน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยดูแล ถ่ายทอดความรู้ คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำ และแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัยได้เป็นอย่างดี พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.รง ทิศ ฉายากุล และ ดร.ภีระ ยมวัน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ตั้งแต่การสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการสอบและการดำเนินงานด้านเอกสารระหว่างการศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บริษัท ทีโอคอน อินสทრูเมนท์ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำรวจ ตลอดจนคำแนะนำในการใช้งานในการศึกษาวินิจฉัย และศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานภาคสนามครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้า รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่คอยแลกเปลี่ยนความรู้และเป็นกำลังใจตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณงามความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
หน้า.....	1
สารบัญรูปภาพ.....	1
หน้า.....	1
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3.1 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	3
1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.4.2 กำหนดปัจจัยและกรณีที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.4.3 กำหนดพื้นที่และวางแผนงานสนาม.....	4
1.4.4 ประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกน.....	5
1.4.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์.....	5

1.5 ข้อจำกัดในการทำวิจัย .....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 .....	8
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	8
2.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	8
2.2 ประเภทของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	8
2.2.1 การวัดด้วยระยะเวลาการเดินทางของเลเซอร์ (Time of flight) .....	9
2.2.2 การวัดระยะด้วยเฟสของคลื่น (Phase measurement).....	9
2.2.3 การวัดระยะด้วยการวัดแบบสามเหลี่ยม (Optical triangulation, Laser radar) .....	10
2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	10
2.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ (Instrumental errors).....	10
2.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ (Object-related errors).....	13
2.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental errors)....	14
2.3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากกระบวนการรังวัด (Methodological errors)..	15
2.3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากกระบวนการยึดโยงค่าพิกัด (Georeferencing errors).....	16
2.4 กระบวนการยึดโยงค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Registration and georeferencing in Terrestrial Laser Scanner).....	16
2.4.1 การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (Direct georeferencing).....	16
2.4.2 การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (Indirect georeferencing).....	17
2.5 การแปลงข้อมูลค่าพิกัด (Coordinate transformation methods).....	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19



2.6.1 การประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอันเนื่องมาจาก ปัจจัยต่างๆ.....	19
2.7 แนวคิดกับงานวิจัย .....	21
บทที่ 3 .....	23
การดำเนินงาน.....	23
3.1 การออกแบบกรณีศึกษา.....	23
3.1.1 การวางแผนงานสนาม .....	26
3.2 การวัดค่าพิกัดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ .....	28
3.2.1 ข้อมูลจุดควบคุมค่าพิกัดและจุดตรวจสอบของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้อง เนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	29
3.2.2 ข้อมูลจุดพิกัดควบคุมและจุดตรวจสอบของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้อง เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี.....	31
3.2.3 กระบวนการรั้งวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบและจุดควบคุมค่าพิกัด.....	32
3.3 การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	32
3.3.1 การเลือกรูปแบบการสแกน.....	32
3.3.2 การเก็บข้อมูลของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่าง วัดกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	32
3.3.3 การเก็บข้อมูลของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสองและสามสถานี .....	33
3.4 การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์.....	33
3.4.1 รูปแบบไฟล์ที่เลือกใช้ในการประมวลผล .....	34
3.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในแต่ละกรณีศึกษาด้วย วิธีการทางสถิติทดสอบสมมติฐาน .....	34
3.5.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์.....	34

3.5.2 การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร (f-test Statistic) .....	35
3.5.3 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร (t-test Statistic) .....	36
บทที่ 4 .....	38
ผลการดำเนินงาน .....	38
4.1 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ .....	38
4.1.1 การวัดค่าพิสัยของข้อมูลพอยท์คลาวด์ .....	38
4.1.2 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน .....	39
4.2 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละกรณี .....	39
4.2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	39
4.2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน สองสถานี .....	43
4.2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน สามสถานี .....	50
4.3 การตรวจสอบข้อมูลพอยท์คลาวด์ .....	52
4.3.1 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อน (vector errors) .....	53
4.4 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ .....	54
4.4.1 การทดสอบค่าความแปรปรวนของสองประชากร .....	54
4.4.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานี ตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	54
4.4.1.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสองสถานี .....	55
4.4.1.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสามสถานี .....	57

4.4.1.4	ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	58
4.4.2	การทดสอบค่าเฉลี่ยของสองประชากร.....	60
4.4.2.1	ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดอยู่กับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	61
4.4.2.2	ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี.....	62
4.4.2.3	ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี.....	63
4.4.2.4	ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	64
บทที่ 5	.....	67
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	.....	67
5.1	อภิปรายผลการดำเนินงาน.....	67
5.1.1	ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดอยู่กับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	67
5.1.2	ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี.....	68
5.1.2.1	การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร.	68
5.1.2.2	การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร.	69
5.1.3	ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี.....	70
5.1.4	ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อกำหนดกระบวนการรั้งวัดยึดโยงค่าพิกัดระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี.....	71

5.1.4.1 เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง .....	71
5.1.4.2 เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม .....	73
5.2 สรุปผลการดำเนินงาน.....	74
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	74
รายการอ้างอิง .....	76
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ (Equipment) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย .....	79
ภาคผนวก ข ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน .....	83
ภาคผนวก ค ตารางผลการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ .....	90
ภาคผนวก ง เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์ .....	104
ภาคผนวก จ ตารางค่าสถิติ.....	134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	142

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Schulz and Ingensand 2004).....	9
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร).....	40
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงของปัจจัยที่มี ผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดิน เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร) .....	40
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกนของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (หน่วยเมตร).....	41
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมของปัจจัยที่มี ผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดิน เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร) .....	42
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร (หน่วยเมตร).....	44
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกน ที่ 30 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร).....	44
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร (หน่วยเมตร).....	45
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกน ที่ 30 เมตรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี หน่วยเมตร) .....	46
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร (หน่วยเมตร).....	47
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการ สแกนที่ 90 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร) .....	48

<b>ตารางที่ 4.11</b> แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร (หน่วยเมตร).....	49
<b>ตารางที่ 4.12</b> แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการ สแกนที่ 90 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร) .....	49
<b>ตารางที่ 4.13</b> แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร).....	51
<b>ตารางที่ 4.14</b> แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการ รังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (หน่วยเมตร).....	52
<b>ตารางที่ 4.15</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจาก ระยะห่างระหว่างวัดกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะต่างๆ .....	55
<b>ตารางที่ 4.16</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม .....	56
<b>ตารางที่ 4.17</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม .....	56
<b>ตารางที่ 4.18</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับ ทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร .....	57
<b>ตารางที่ 4.19</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี .....	58
<b>ตารางที่ 4.20</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี.....	59
<b>ตารางที่ 4.21</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่อง สแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี .....	59

<b>ตารางที่ 4.22</b> แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่อง สแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี .....	60
<b>ตารางที่ 4.23</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจาก ระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะต่างๆ .....	61
<b>ตารางที่ 4.24</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม .....	62
<b>ตารางที่ 4.25</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่า พิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม .....	63
<b>ตารางที่ 4.26</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับ กับทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร .....	64
<b>ตารางที่ 4.27</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี .....	64
<b>ตารางที่ 4.28</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี .....	65
<b>ตารางที่ 4.29</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี .....	66
<b>ตารางที่ 4.30</b> แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี .....	66

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	6
รูปที่ 2.1 หลักการของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Vozikis et al, 2004).....	8
รูปที่ 2.2 ความผิดพลาดที่เกิดจะขอบเขตการวัดที่มีพื้นผิวสะท้อนต่างกัน (Sotoodeh 2006) (Sotoodeh 2006) .....	11
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบแกนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Reshetyuk 2009).....	13
รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวของรังสีสะท้อน (Cosarca, Jocea et al. 2009) .....	14
รูปที่ 2.5 แสดงการหักเหเมื่อผ่านผิววัตถุที่โปร่งใส (Cosarca, Jocea et al. 2009).....	14
รูปที่ 2.6 การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (Reshetyuk 2009) .....	17
รูปที่ 2.7 การรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (Reshetyuk 2009) .....	18
รูปที่ 2.8 การประมวลผลข้อมูลยึดโยงพิกัด 3 มิติ (Reshetyuk 2009).....	18
รูปที่ 3.1 สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ( <a href="http://www.cusc.chula.ac.th/wordpress/chulalongkorn-stadium/">http://www.cusc.chula.ac.th/wordpress/chulalongkorn-stadium/</a> ).....	24
รูปที่ 3.2 แสดงบริเวณพื้นที่ทดสอบภายในสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสถานีตั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (ปัจจัยที่ 1 สีน้ำเงิน, ปัจจัยที่ 2 สีแดง).....	27
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างกล่องที่ใช้เป็นตัวแทนเป้าสามมิติ.....	29
รูปที่ 3.4 แสดงพื้นที่บนอัฒจันทร์ในการติดตั้งเป้าสามมิติครอบคลุมบริเวณที่สแกน .....	30
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมและจุดตรวจในแต่ละแถวของอัฒจันทร์ มีระยะห่าง ระหว่างกล่อง 3 เมตร โดยตำแหน่งสีน้ำตาลเป็นจุดตรวจสอบ และตำแหน่งสีดำเป็นจุดควบคุมค่า พิกัด .....	30
รูปที่ 3.6 แสดงพื้นที่บนอัฒจันทร์ครอบคลุมการสแกนและมุมต่างๆบนตัวอักษรแทนจุดควบคุม ค่าพิกัด (GCP) และจุดตรวจสอบ (Check point) .....	31
รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมและจุดตรวจในแต่ละแถวของอัฒจันทร์ ใช้บริเวณ ขอบสีที่ทาบนอัฒจันทร์ตัดกับขั้นบันได บริเวณจุดสีขาวเป็นจุดตรวจสอบและสีดำเป็นจุดควบคุม..	31



<b>รูปที่ 3.8</b> แสดงตัวอย่างการแจกแจงแบบเอฟและบริเวณที่ปฏิเสธสมมติฐานที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 .....	35
<b>รูปที่ 4.1</b> แสดงตัวอย่างของการวัดค่าพิกัดข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ.....	38
<b>รูปที่ 4.2</b> แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	39
<b>รูปที่ 4.3</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง .....	41
<b>รูปที่ 4.4</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม .....	43
<b>รูปที่ 4.5</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 30 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง.....	45
<b>รูปที่ 4.6</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 30 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม.....	47
<b>รูปที่ 4.7</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 90 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง.....	48
<b>รูปที่ 4.8</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 90 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม.....	50
<b>รูปที่ 4.9</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง .....	51
<b>รูปที่ 4.10</b> กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการสแกนสามสถานี เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม .....	52

- รูปที่ 4.11** ตัวอย่างขนาดเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะ 30 เมตร ..... 53
- รูปที่ 5.1** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม ..... 67
- รูปที่ 5.2** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมที่ระยะสแกน 30 เมตร..... 69
- รูปที่ 5.3** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม ที่ระยะสแกน 90 เมตร..... 70
- รูปที่ 5.4** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม ..... 71
- รูปที่ 5.5** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อรังวัดค่าพิกัดทางตรงระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี.... 72
- รูปที่ 5.6** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อรังวัดค่าพิกัดทางอ้อมระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี... 73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นเครื่องมือรังวัดจุดตำแหน่งพิกัด 3 มิติภาคพื้นดิน ที่ให้ข้อมูลจุดพิกัดจำนวนมากและมีความถูกต้องสูง เรียกว่า พอยท์คลาวด์ (point cloud) กระบวนการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมี 2 วิธี (Reshetyuk 2009) ได้แก่ การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (direct georeferencing) และการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (indirect georeferencing) โดยกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง คือการรังวัดที่ได้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่มีค่าพิกัด 3 มิติอ้างอิงกับระบบพิกัดของโลกทันที ซึ่งจำเป็นต้องทราบค่าพิกัดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินและความสูงของจุดกลางการสแกนเหนือจุดตั้งเครื่อง อีกทั้งต้องทราบค่าพิกัดของสถานีหลัง (back-sight station) ของการสแกนทุกครั้ง ดังนั้นค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจะขึ้นกับความถูกต้องของพิกัดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ค่าพิกัดของสถานีหลัง และการติดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ส่วนกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม คือการรังวัดที่ยังไม่ได้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่มีค่าพิกัด 3 มิติอ้างอิงกับระบบของโลกในทันที ค่าพิกัดที่ได้จะอยู่ในระบบของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยจะต้องนำข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้มาประมวลผลยึดโยงค่าพิกัดให้อยู่ในระบบพิกัดของโลก (Gordon, Lichti et al. 2003) ซึ่งการประมวลผลยึดโยงค่าพิกัดนั้นจำเป็นต้องทราบจุดควบคุมค่าพิกัด (ground control points) บางจุดบนพื้นที่ที่สแกน

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner, TLS) จึงถูกนำมาใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้องสูงทางตำแหน่งสูง เช่น การผลิตชิ้นส่วนในการก่อสร้าง เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานที่เข้ากันได้พอดี งานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมสิ่งปลูกสร้าง วัตถุโบราณ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานบริหารจัดการอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เพื่อสร้างแบบปัจจุบัน (As is drawing) ภายในอาคาร ซึ่งปัจจัยความถูกต้องที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ได้แก่ ระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ระยะห่างระหว่างสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการรังวัดโดยรอบอาคารหรือวัตถุที่ต้องมีการรังวัดตั้งแต่ 2 สถานีขึ้นไป โดยทั้งสองปัจจัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่าความถูกต้องที่ต้องการก่อนการวางแผนงานสนาม(Gordon, Lichti et al. 2003) และการออกแบบกระบวนการรังวัดไม่ว่าจะเป็นการรังวัดโยงยึดค่าพิกัดทางตรงหรือการรังวัดโยงยึดค่าพิกัดทางอ้อม ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับกลุ่มงานที่ต้องการข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอันเนื่องมาจากระยะห่างของการสแกนและจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

1.2.2 เปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างกระบวนการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงกับทางอ้อมของปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

1.2.3 เปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างกระบวนการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงกับทางอ้อมของปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอันเนื่องมาจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานี

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตการศึกษา

กำหนดการศึกษาโดยแบ่งการศึกษาเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

- 1) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
- 2) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมากกว่าหนึ่งสถานี

โดยทั้งสองปัจจัยนี้วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบทั้งกระบวนการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงและกระบวนการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมในแต่ละปัจจัย

### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

บริเวณภายในสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้รั้วอ้อมจันทร์ภายในเป็นวัตถุให้การสแกนและกำหนดจุดตรวจสอบตามตำแหน่งต่างๆบนอ้อมจันทร์

### 1.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- 1) เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ของ Topcon รุ่น GLS-2000
- 2) กล้องประมวลผลรวม (Total Station) ของ Topcon รุ่น DS-101AC
- 3) กล้องระดับอัตโนมัติ (Automatic Level) ของ Leica รุ่น DNA03

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน อันเนื่องมาจากกระบวนการรังวัดและคุณสมบัติเฉพาะตัวของเครื่อง อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการจัดการด้านสถาปัตยกรรม การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

### 1.4.2 กำหนดปัจจัยและกรณีที่ใช้ในการศึกษา

กำหนดการศึกษาโดยแบ่งการศึกษาเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี

- 1) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยแบ่งการศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะ 30 60 90 120 และ 150 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะ 30 60 90 120 และ 150 เมตร

2) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร และมีระยะห่างของสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร และมีระยะห่างของสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

กรณีที่ 3 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร และมีระยะห่างของสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

กรณีที่ 4 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร และมีระยะห่างของสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

3) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะ 30 และ 90 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร

เมื่อทำการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นและประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ด้วยโปรแกรม Cloud Compare โดยตรวจสอบข้อมูลที่ประมวลผลได้กับจุดตรวจ (check points) จำนวน 30 จุด จากนั้นวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลในแต่ละกรณีโดยใช้การทดสอบทางสถิติ

#### 1.4.3 กำหนดพื้นที่และวางแผนงานสนาม

การกำหนดพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาในจำเป็นต้องครอบคลุมปัจจัยและกรณีศึกษาที่สนใจ โดยคำนึงถึงระยะการสแกนด้านหน้าได้ไกลสุด 180 เมตร และด้านกว้างมีระยะอย่าง

น้อย 90 เมตร ผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่ภายในสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้สำหรับการศึกษา

เมื่อเลือกพื้นที่ทดสอบก็สามารถกำหนดสถานีในการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินได้ดังนี้

1) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้นแสดงบริเวณส่วนที่ใช้ทดสอบในการสแกนกว้าง 40 เมตร และมีระยะการสแกนแสดงจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นจุดสีน้ำเงินทั้งหมด 5 สถานี แต่ละสถานีห่างกัน 30 เมตร

2) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีนั้นแสดงบริเวณส่วนที่ใช้ทดสอบในการสแกนกว้าง 60 เมตร และระยะห่างระหว่างสถานีในการทดสอบทั้งหมด 5 ระยะ

กำหนดจุดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในแต่ละระยะทั้งหมด 15 สถานี กำหนดระยะเวลาการดำเนินงานสนาม 3 สัปดาห์

#### 1.4.4 ประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกน

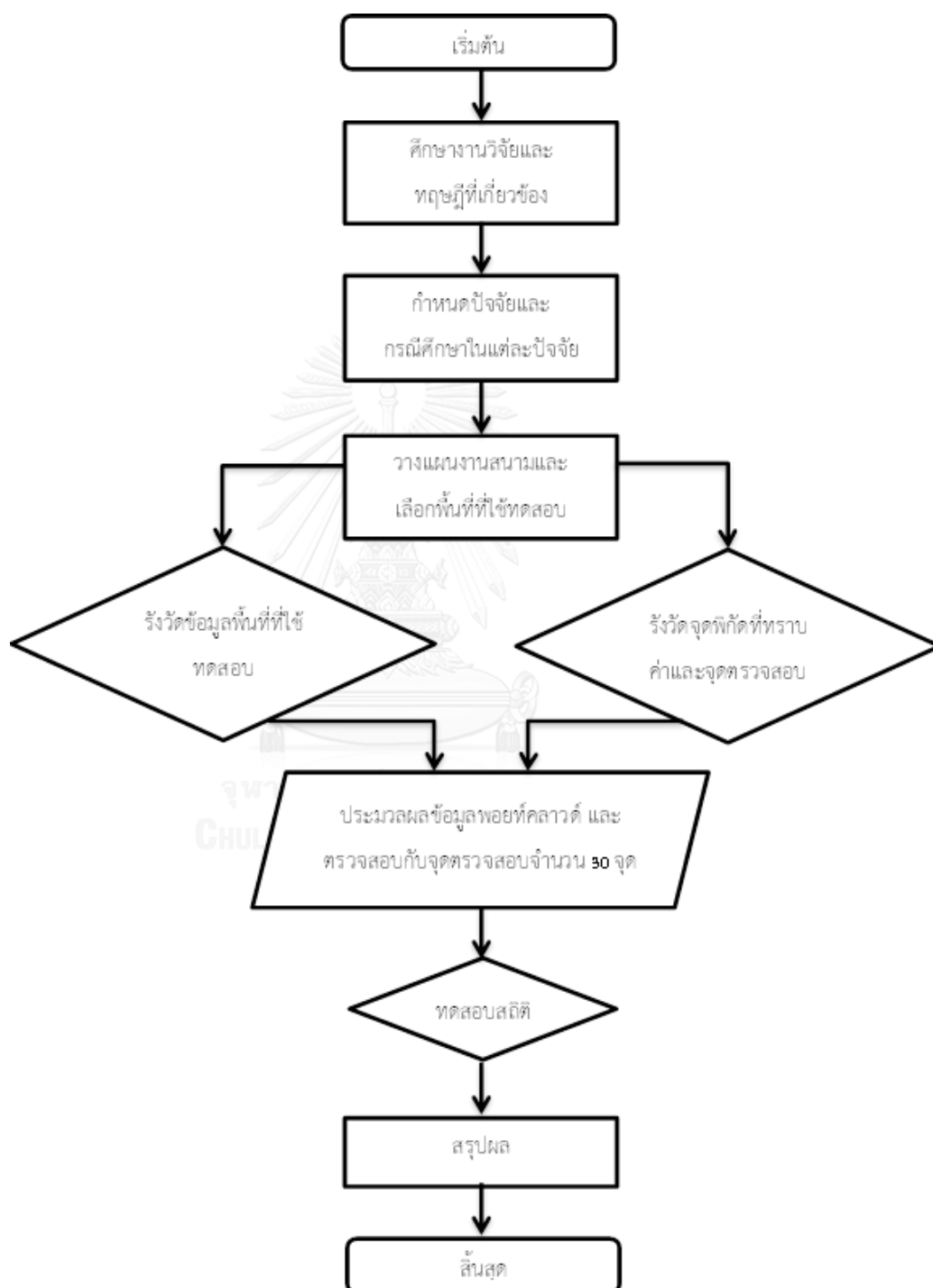
การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Cloud Compare

2.6.2 สำหรับตรวจสอบค่าความถูกต้องกับจุดตรวจสอบและใช้ประมวลผลวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมสำหรับปัจจัยเรื่องระยะห่างระหว่างสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

#### 1.4.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

ผลการศึกษาในแต่ละปัจจัยนั้นจะนำผลลัพธ์มาประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งกับจุดตรวจสอบที่ทราบค่าพิกัดจำนวน 30 จุด ตามมาตรฐานแห่งชาติสำหรับความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่ (National Standard for Spatial Data Accuracy : NSSDA) ของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหลัก โดยใช้ค่า RMSE (Root Mean Square Error) ประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง จะรายงานที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ

95 นอกจากนี้จะทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้สถิติทดสอบแบบการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากรเพื่อประเมินความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกรณี



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

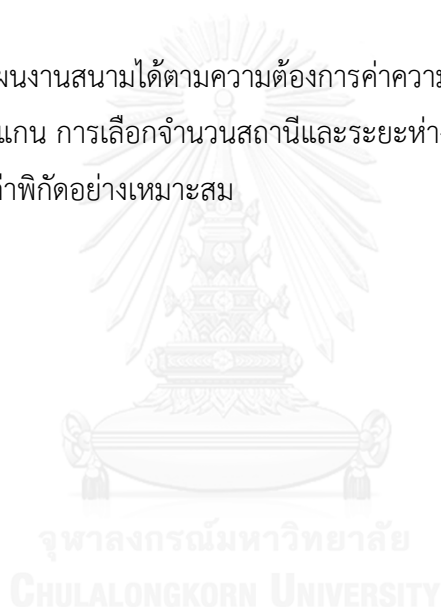


### 1.5 ข้อจำกัดในการทำวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับอนุเคราะห์เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจากบริษัท Topcon เพียงบริษัทเดียว โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินรุ่น GLS-2000 เท่านั้นสำหรับการทำงาน ดังนั้นผลการวิจัยที่ปรากฏขึ้นจะเป็นผลสำหรับเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเฉพาะรุ่นนี้

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประโยชน์และข้อจำกัดของการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
2. สามารถประเมินความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ได้เมื่อกำหนดปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนในพื้นที่จริง
3. สามารถวางแผนงานสนามได้ตามความต้องการค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ ทั้งการกำหนดระยะการสแกน การเลือกจำนวนสถานีและระยะห่างของสถานีได้ หรือเลือกกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดอย่างเหมาะสม

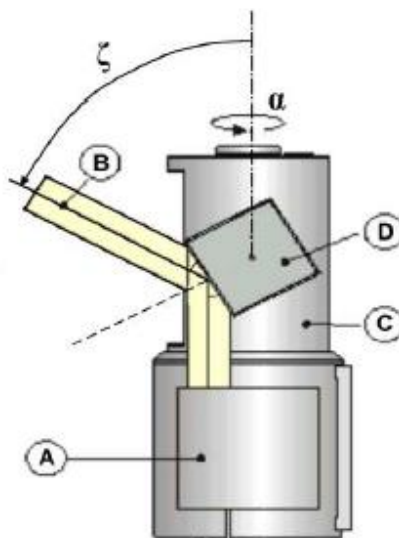


## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีหลักการพื้นฐาน (Alkan and Karsidag 2012) ในการรังวัดข้อมูลพอยท์คลาวด์อยู่สองแกน ได้แก่ แกนราบ (horizontal) และแกนตั้ง (vertical) เช่นเดียวกับกล้องประมวลผลรวม โดยมีแหล่งกำเนิดเลเซอร์ (รูปที่ 2.1, A) และจุดศูนย์กลางของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (รูปที่ 2.1, D) แนวการสแกน (รูปที่ 2.1, B) ซึ่งมีมุมตั้งในการสแกนกวาด ( $\zeta$ ) เมื่อสแกนตามแนวยาวแรกเสร็จสิ้นจะบันทึกข้อมูลภาพตามยาว (profile) ลงบนเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (รูปที่ 2.1, C) จากนั้นจะหมุนรอบแกนตั้งด้วยมุมขนาดเล็กมาก ( $\alpha$ ) ในการวัดทุกครั้ง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะรับข้อมูลที่สะท้อนกลับมาคำนวณค่าพิกัด 3 มิติ (X, Y และ Z) ที่อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางของการสแกน



รูปที่ 2.1 หลักการของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Vozikis et al, 2004)

#### 2.2 ประเภทของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การแบ่งชนิดของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถแบ่งได้จากหลักการของการวัดระยะทาง (Schulz and Ingensand 2004) ได้แก่ การวัดด้วยระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์

(time of flight) การวัดด้วยผลต่างเฟสคลื่นของเลเซอร์ (phase measurement) และการวัดด้วยสามเหลี่ยมของเรดาร์ (laser radar and optical triangulation) (Boehler and Marbs 2004) ซึ่งข้อแตกต่างและคุณสมบัติของหลักการวัดระยะทางแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** การจำแนกประเภทของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Schulz and Ingensand 2004)

Measurement system	Range [m]	Range accuracy [mm]	Manufacturers (examples)
Time of flight	100 ~ 1000	> 10	Mensi, Riegl, Cyra, Callidus
Phase measurement	< 100	< 10	Zoller+Froehlich, IQSun
Optical triangulation, Laser radar	< 10	< 1	Minolta, Leica

จากตารางที่ 2.1 เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การวัดด้วยระยะเวลาการเดินทางของเลเซอร์ การวัดระยะด้วยเฟสของคลื่น และการวัดระยะด้วยการวัดแบบสามเหลี่ยม

### 2.2.1 การวัดด้วยระยะเวลาการเดินทางของเลเซอร์ (Time of flight)

เป็นการวัดที่นิยมใช้ในกล้องประมวลผลรวมและเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยใช้เวลาเพื่อวัดระยะทางที่สแกนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน มีระยะการสแกนตั้งแต่ 100 เมตร ถึง 1,000 เมตร และมีความถูกต้องของการวัดระยะทางอยู่ในระดับ 10 มิลลิเมตร

### 2.2.2 การวัดระยะด้วยเฟสของคลื่น (Phase measurement)

เป็นวิธีการวัดที่มีความละเอียดสูง และมีความซับซ้อนในการวัด โดยอาศัยเทคนิคในการหาค่าความต่างของเฟสที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ สามารถสแกนที่ระยะไม่เกิน 100 เมตร และมีความถูกต้องของการวัดระยะทางอยู่ในระดับต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร

### 2.2.3 การวัดระยะด้วยการวัดแบบสามเหลี่ยม (Optical triangulation, Laser radar)

เป็นการวัดโดยอาศัยเทคนิคการวัดแบบสามเหลี่ยม ซึ่งมีตำแหน่งเซนเซอร์ในการรับสัญญาณอยู่ห่างออกจากจุดส่งสัญญาณเลเซอร์ และมีระยะการสแกนอยู่ที่ 10 เมตร มีความถูกต้องของการวัดระยะทางอยู่ในการต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร

## 2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Gordon, Lichti et al. 2003) ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ (Instrumental errors) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวัตถุ (Object-related errors) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสภาพแวดล้อม (Environmental errors) และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมวลผลข้อมูล (Methodological errors)

### 2.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ (Instrumental errors)

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ นั้นแบ่งได้เป็นค่าความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบ และค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Cosarca, Jocea et al. 2009) โดยค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มจะมีผลกระทบเป็นส่วนใหญ่กับความถูกต้องของการวัดระยะทางและการวัดมุมของวิธีการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ (time of flight) ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบนั้น คำนึงได้จากระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

#### 1) การเบนออกของลำแสง (Laser Beam width)

การเบนออกของลำแสงเลเซอร์เป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อความละเอียดของข้อมูลพอยท์คลาวด์ โดยการเบนออกของลำแสงเลเซอร์นั้นจะขึ้นกับระยะห่างของการสแกน (Cosarca, Jocea et al. 2009) ดังสมการที่ (2.1)

$$r(\rho_r) = r_0 \sqrt{1 + \frac{\lambda \rho_r^2}{\pi r_0^2}} \quad (2.1)$$

เมื่อ

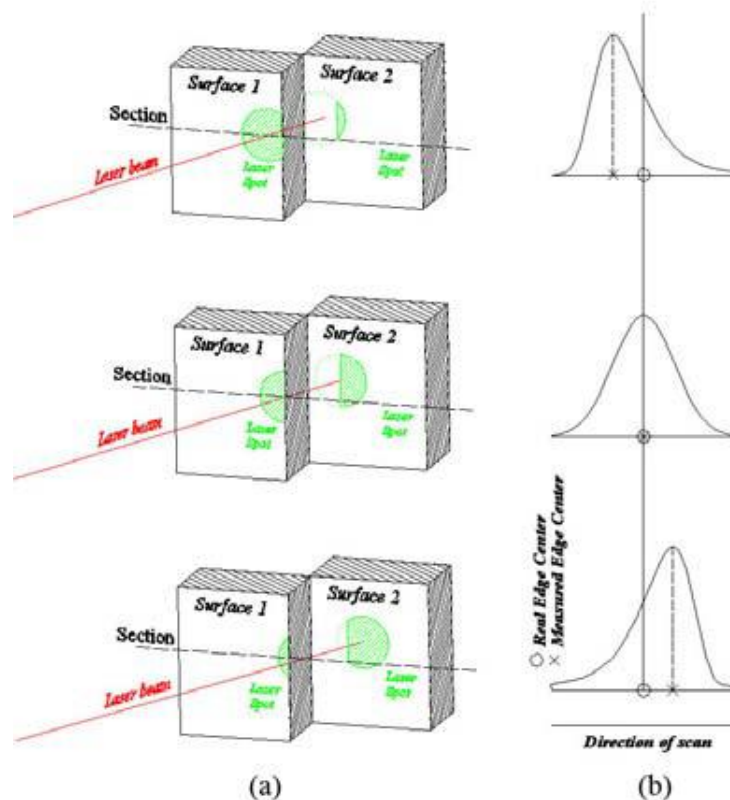
$\rho_r$  คือ ระยะห่างสัมพันธ์ของรัศมีที่มีขนาดเล็กที่สุดลำแสง (beam waist)

$r$  คือ รัศมีของลำแสง

$r_0$  คือ รัศมีที่มีขนาดเล็กที่สุดลำแสง (beam waist)

## 2) ขอบเขตของลำแสง (Boundaries effect)

ขอบเขตของลำแสงเป็นอีกหนึ่งผลกระทบที่สำคัญที่จะต้องคำนึง (Cosarca, Jocea et al. 2009) เนื่องจากลำแสงเลเซอร์มีลักษณะเป็นรูปวงรี ดังนั้นการสะท้อนที่รับกลับมานั้นอาจได้รับมาจากบริเวณสองพื้นผิวที่ต่างกันจึงมีผลกระทบต่อความถูกต้องต่อบริเวณดังกล่าว ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสะท้อนจะเป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของรังสีการสะท้อน ดังรูปที่ 2.2 (b)



รูปที่ 2.2 ความผิดพลาดที่เกิดจะขอบเขตการวัดที่มีพื้นผิวสะท้อนต่างกัน (Sotoodeh 2006)

(Sotoodeh 2006)

### 3) ความถูกต้องอันเนื่องจากระยะทาง (Range Accuracy)

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่วัดระยะทางด้วยการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์นั้น ค่าความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการเดินทางของเลเซอร์ (COȘARCA et al, 2009) ซึ่งในกรณีที่เครื่องวัดระยะทางด้วยการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ จะมีค่าความละเอียดเป็นไปตามสมการที่ (2.2)

$$\delta_z \approx \frac{cT}{2\sqrt{SNR}} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$T$  คือ ระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์

$SNR$  คือ อัตราส่วนสัญญาณต่อจตุรบกวน (signal-to-noise ratio)

$c$  คือ ความเร็วแสง

### 4) ความถูกต้องอันเนื่องมาจากมุม (Angular accuracy)

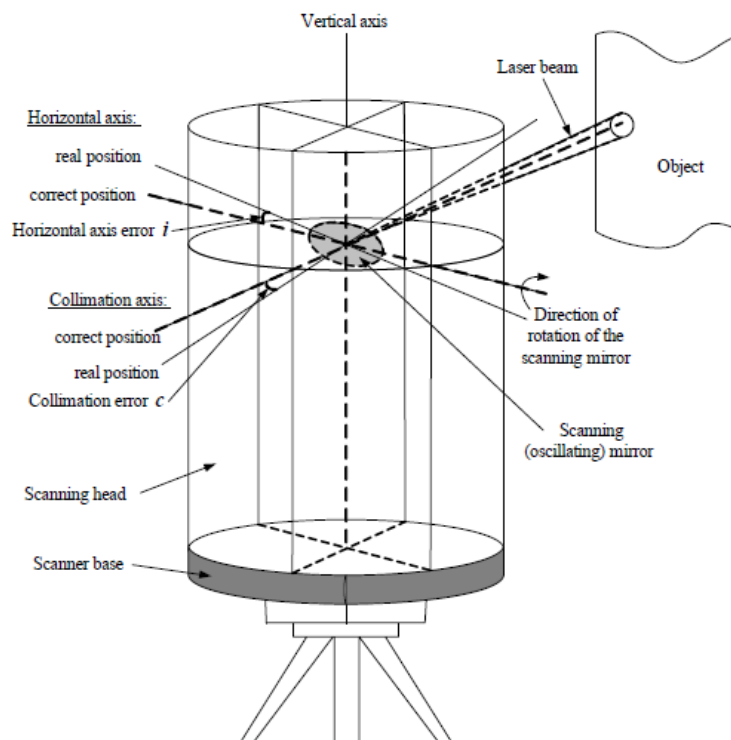
เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ในการหมุนขนาดเล็กเพื่อให้สามารถสแกนให้ได้จำนวนพอยท์คลาวด์ได้ตามต้องการ ซึ่งการหมุนมุมขนาดเล็กนั้นย่อมมีค่าความถูกต้องเชิงมุมที่ขึ้นกับค่าความถูกต้องของอุปกรณ์การวัดเชิงมุม (Cosarca, Jocea et al. 2009)

### 5) ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแกนเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Axis errors)

แกนตั้ง (Vertical axis) โดยทั่วไปแล้วการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนตามแกนตั้งนั้นกล้องประมวลผลรวม (Total station) จะขจัดความคลาดเคลื่อนจากความเอียงแกนตั้งของกล้องด้วยการวัดมุม 2 หน้า แต่เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้นไม่สามารถวัดจุดเดียวกันซ้ำกัน 2 หน้าได้ (Reshetyuk 2009)

แกนแนวเล็ง (Collimation axis) ค่าความถูกต้องของแกนแนวเล็งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของเลเซอร์และศูนย์กลางของกระจกสแกน

แกนราบ (Horizontal axis) สามารถขจัดได้จากการติดตั้งเครื่องให้อยู่ในแนวระดับ



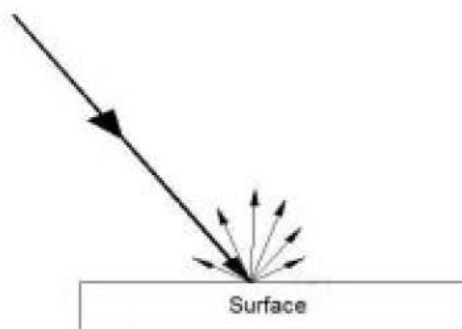
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบแกนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Reshetyuk 2009)

### 2.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ (Object-related errors)

ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญและต้องคำนึงเป็นประการแรกในการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยมีปัจจัยสำคัญดังนี้

#### 1) ลักษณะของพื้นผิว (Surface reflectance)

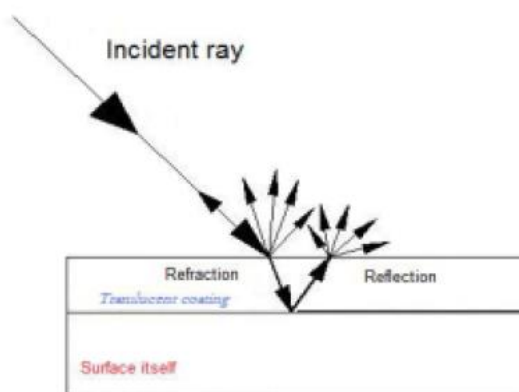
ลักษณะของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่ทำให้ต่อการกำหนดทิศทางของรังสีสะท้อน อีกทั้งสีของวัตถุที่มีผลต่อความเข้มของรังสีสะท้อน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวของรังสีสะท้อน (Cosarca, Jocea et al. 2009)

## 2) การหักเหและการสะท้อน (Multipath reflection)

ในกรณีที่ผิวของวัตถุมีความโปร่งใสนั้นจะทำให้ลำแสงเกิดการหักเหและสะท้อนกลับทั้ง 2 บริเวณ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการหักเหเมื่อผ่านผิววัตถุที่โปร่งใส (Cosarca, Jocea et al. 2009)

## 2.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental errors)

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Reshetyuk 2009)

โดยมีปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการวัดระยะได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน การรบกวนจากรังสีภายนอก และการสั่นสะเทือน

### 1) อุณหภูมิ Temperature

อุณหภูมิภายนอกเป็นปัจจัยสำคัญของการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ที่ต้องบันทึกก่อนการสแกนทุกครั้ง (Reshetyuk 2009) เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะสามารถปรับแก้การวัดระยะทางจากค่าอุณหภูมิที่กำหนดได้



## 2) ความดันบรรยากาศ Atmosphere

นอกจากอุณหภูมิแล้วเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินยังสามารถบันทึกความดันบรรยากาศและความชื้นขณะนั้นเพื่อลดความผิดพลาดจากการวัดระยะทางด้วยการวัดระยะเวลาดำเนินทางของแสงเลเซอร์ ทั้งนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้นจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหแสงและความยาวคลื่น (Cosarca, Jocea et al. 2009)

## 3) รังสีภายนอก Interfering radiations

เมื่อเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินทำงานอยู่บริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ใกล้เคียงกับเลเซอร์ การวัดระยะทางจะพบกับผลกระทบจากรังสีภายนอก เช่น แสงแดด หลอดไฟ (Cosarca, Jocea et al. 2009)

## 4) ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเดินทางของเลเซอร์ Distortions from motions

แม้ว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ส่วนใหญ่จะสามารถสแกนได้อย่างรวดเร็วที่ 2,000 ถึง 500,000 ต่อวินาที แต่การวัดด้วยระยะเวลาดำเนินทางของแสงเลเซอร์ (time of flight) นั้นจะมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเดินทางของเลเซอร์ซึ่งเป็นผลกระทบของการสั่นของสิ่งแวดล้อมภายนอกและการสั่นระหว่างการสแกน

### 2.3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการรบกวนการรังวัด (Methodological errors)

ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเลือกกระบวนการรังวัดผิดวิธี (Cosarca, Jocea et al. 2009) โดยผู้ใช้อย่างไม่เข้าใจกระบวนการการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เช่นการกำหนดความละเอียดของข้อมูลพอยท์คลาวด์ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าความถูกต้องของข้อมูล อีกทั้งการกำหนดสถานีสำหรับการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินห่างจากวัตถุทำให้ความถูกต้องของข้อมูลไม่ได้ตามที่ต้องการ

### 2.3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัด (Georeferencing errors)

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัดนั้น แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง และค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

1. ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (Reshetyuk 2009)

- 1) ค่าความถูกต้องของค่าพิกัดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
- 2) ค่าความถูกต้องของมุมแอซิมัทในการเล็งสถานีหลัง (back-sight station)
- 3) ความผิดพลาดที่เกิดจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

2. ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระบบการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (Gordon, Lichti et al. 2003) และ (Sotoodeh 2006)

- 1) ค่าความถูกต้องของค่าพิกัดจุดทราบค่า (ground control points, GCP)
- 2) กระบวนการยึดโยงค่าพิกัดภายหลัง (registration)
- 3) ความผิดพลาดที่เกิดจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

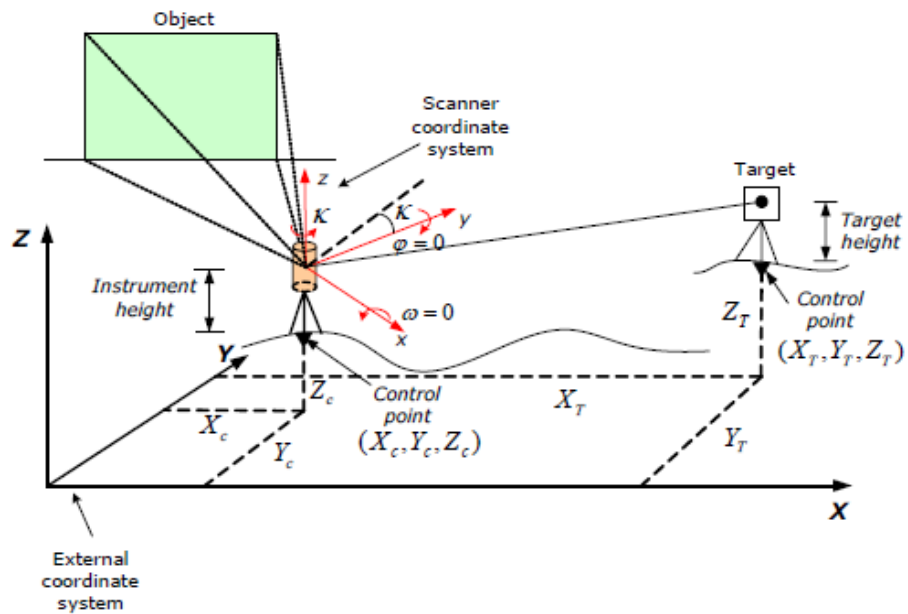
## 2.4 กระบวนการยึดโยงค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Registration and georeferencing in Terrestrial Laser Scanner)

การศึกษากระบวนการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินและโปรแกรมสำหรับการประมวลผลได้จำแนกกระบวนการรังวัดออกเป็น 2 วิธี คือ การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (direct georeferencing) และการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (indirect georeferencing)

### 2.4.1 การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (Direct georeferencing)

การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (direct georeferencing) เป็นการรังวัดที่จำเป็นต้องทราบค่าพิกัดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินและความสูงของจุด

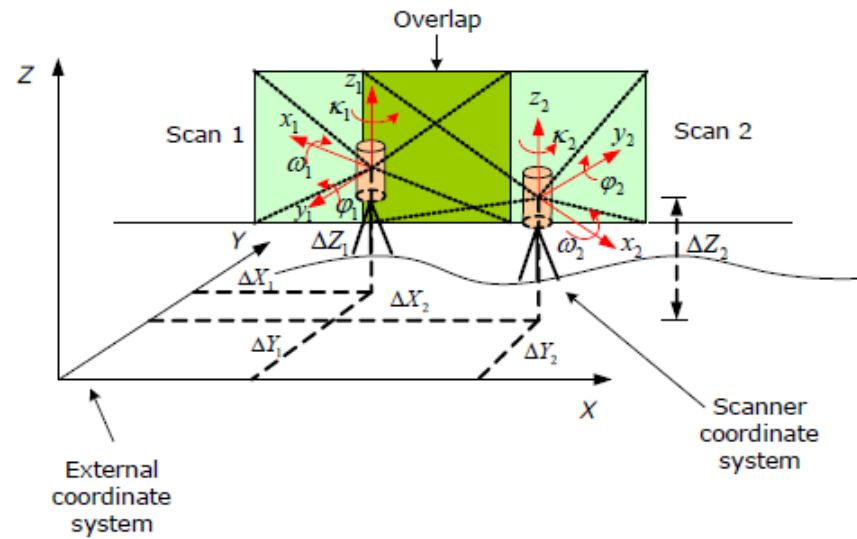
กลางการสแกนเหนือจุดตั้งเครื่อง อีกทั้งต้องทราบค่าพิกัดสถานีหลัง (backsight station) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (Reshetyuk 2009)

#### 2.4.2 การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (Indirect georeferencing)

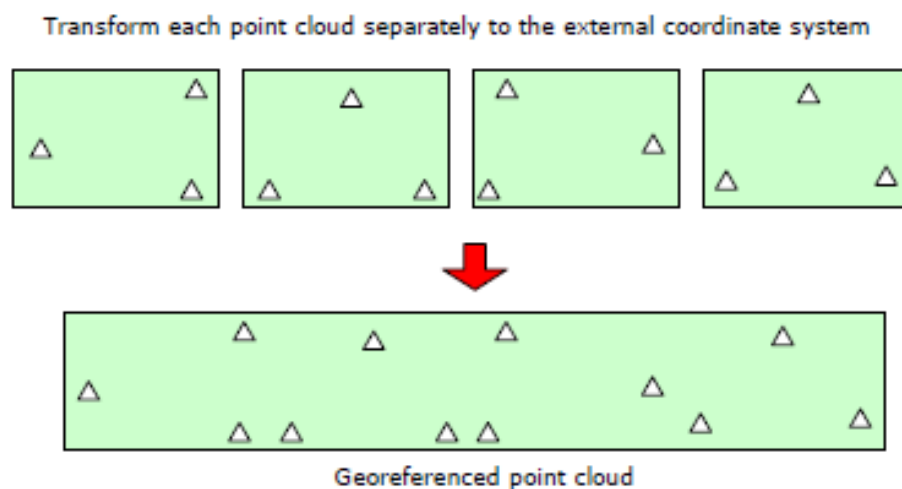
การรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (indirect georeferencing) กระบวนการรังวัดด้วยวิธีนี้จะต้องอาศัยกระบวนการประมวลผลข้อมูลยึดโยงพิกัด 3 มิติ (georeferencing) จากระบบพิกัดของตำแหน่งตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไปยังระบบพิกัดโลกตามต้องการ ซึ่งต้องใช้จุดที่ทราบค่าพิกัด (ground control points) ในการประมวลผล ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (Reshetyuk 2009)

## 2.5 การแปลงข้อมูลค่าพิกัด (Coordinate transformation methods)

สำหรับการประมวลผลข้อมูลยึดโยงพิกัด 3 มิติ (georeferencing) เป็นการแปลงค่าพิกัดจากระบบเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไปยังระบบพิกัดโลก (Reshetyuk 2009) โดยใช้แบบจำลองการแปลงค่าพิกัดในระบบ 3 มิติ (3D Affine transformation) ซึ่งจำเป็นต้องใช้จุดที่ทราบค่าพิกัด (ground control points) สำหรับการประมวลผลข้อมูลยึดโยงพิกัด 3 มิติ ด้วยจุดที่ทราบค่าพิกัดในแต่ละพอยท์คลาวด์ ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นค่าความถูกต้องของกระบวนการรังวัดทางอ้อมจะขึ้นกับค่าความถูกต้องของจุดที่ทราบค่าพิกัดและความละเอียดของพอยท์คลาวด์



รูปที่ 2.8 การประมวลผลข้อมูลยึดโยงพิกัด 3 มิติ (Reshetyuk 2009)

การยึดโยงค่าพิกัดจากระบบพิกัดของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไปยังระบบพิกัดโลก โดยโปรแกรมใช้แบบจำลองการแปลงค่าพิกัดในระบบ 3 มิติ ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมด 12 ค่า ดังสมการที่ (2.3) และจำเป็นต้องมีจุดที่ทราบค่าพิกัด (ground control points) จำนวนอย่างน้อย 4 จุด ต่อ 1 พอยท์คลาวด์ (วิชัย เยี่ยงวีรชน 2559) แต่ในงานวิจัยนี้ใช้จุดที่ทราบค่าพิกัดจำนวน 9 จุด ต่อ 1 พอยท์คลาวด์ จะมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Wu, Hsiao et al. 2013)

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + H(\theta_1)H(\theta_2)H(\theta_3) \times S(\lambda_1)S(\lambda_2)S(\lambda_3) \times R(\omega)R(\varphi)R(\kappa) \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ	$X_A, Y_A$ และ $Z_A$	คือ ค่าพิกัดในระบบโลก
	$X_B, Y_B$ และ $Z_B$	คือ ค่าพิกัดในระบบเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
	$x_0, y_0$ และ $z_0$	คือ พารามิเตอร์ของการเลื่อนค่าพิกัดตามแนวแกน
	$\lambda_1, \lambda_2$ และ $\lambda_3$	คือ พารามิเตอร์ของมาตราส่วนตามแนวแกน
	$\theta_1, \theta_2$ และ $\theta_3$	คือ พารามิเตอร์ของการบิดตามแนวแกน
	$\omega, \varphi$ และ $\kappa$	คือ พารามิเตอร์ของการหมุนรอบแกน

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 การประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ

Boehler and Marbs (2003) ได้ศึกษาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยกำหนดขอบเขตของการศึกษาเป็น ความถูกต้องเชิงมุม (Angular Accuracy) ความถูกต้องเชิงระยะ (Range Accuracy) ความละเอียดของการสแกน (Resolution) ผลกระทบจากขอบมุมของวัตถุ (Edge Effects) และชนิดของพื้นผิววัตถุ (Influence of Surface Reflectivity) โดยเปรียบเทียบกับเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจำนวน 13 รุ่น แสดงให้เห็นว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแต่ละรุ่น และกันตั้งค่าการสแกนที่ต่างกัน เมื่อสแกนบนปัจจัยข้างต้นเดียวกันแต่จะให้ค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของผู้ผลิต ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับโครงการอีกด้วย

COȘARCĂ et al. (2009) ได้ศึกษาการเผยแพร่ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเพื่อชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติที่โดดเด่นของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแต่ละรุ่น โดยแบ่งการศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ (Instrumental errors) ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ (Object-related errors) ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental errors) และค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากกระบวนการรังวัด (Methodological errors) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีความถูกต้องที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งานของแต่ละบุคคลและการวัดสอบเทียบในการเก็บรักษาดูแล ทั้งนี้เพื่อให้ค่าความถูกต้องที่ประเมินได้จากทฤษฎีมีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลทางเทคนิคที่อ้างถึง

Alkan and Karsidag (2012) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน รุ่น Z+F IMAGER 5006i โดยการสแกนวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันและความหนาแน่นของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ต่างกัน กำหนดให้วัตถุที่ใช้ในการสแกนมีทั้งหมด 6 แบบ และการตั้งค่าความละเอียดของการสแกนทั้งหมด 5 แบบ จากนั้นได้สร้างภาพ 3 มิติ จากข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกน พบว่าขนาดของรูปทรงวัตถุที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับขนาดของวัตถุจริงมีความแตกต่างกันโดยผกผันกับความเข้มแสงและสัดส่วนแปรผันโดยตรงกับระยะห่างในการสแกน ทั้งนี้ได้กล่าวสรุปไว้ว่าวัตถุที่มีผิวสะท้อนและรูปทรงของวัตถุที่มีมีผลต่อคุณภาพของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

Soudarissanane et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของค่ามุมอุบัติการณ์ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแนวลำแสงการสแกนที่วัดจากจุดกึ่งกลาง โดยแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของมุมอุบัติการณ์ที่เพิ่มขึ้นขนาดของอัตราส่วนสัญญาณต่อจตุรบกวงก็มีขนาดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการทดลองแรกจะกำหนดระยะการสแกนคงที่ แต่แบ่งกรณีศึกษาเป็นมุมต่างๆ ที่ 20 40 60 และ 80 องศา การวิเคราะห์แต่ละกรณีแสดงให้เห็นว่าเมื่อมุมของการสแกนสูงกว่า 60 องศา จะมีอิทธิพลต่อค่าความแม่นยำของจุดการสแกน สำหรับการทดลองที่สองร้อยละ 20 ของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในห้องทดสอบเป็นการวัดเมื่อวัดด้วยมุมอุบัติการณ์ (Soudarissanane, Lindenbergh et al. 2009) ผลการวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าการจะเพิ่มประสิทธิภาพของการสแกนนั้นจะต้องคำนึงถึงมุมอุบัติการณ์

Soudarissanane et al. (2011) ได้ศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อคุณภาพของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบหลัก ๆ ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ กลไกของเครื่องมือ (instrument mechanism) สภาพบรรยากาศขณะสแกน (atmospheric conditions) พื้นผิวของวัตถุ (object surface properties) และเรขาคณิตของการสแกน (scan geometry) โดยทำการทดสอบภายใต้การควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในห้องทดลอง งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ตำแหน่งแตกต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ หากมีการย้ายตำแหน่งที่ห่างไป 2 เมตรจากตำแหน่งเดิม ความถูกต้องจะลดลงไปร้อยละ 20 หรือประมาณ 3.23 ถึง 2.55 มิลลิเมตร

Chien-Ting et al. (2013) ได้ศึกษาการพัฒนาข้อมูลพอยท์คลาวด์ให้มีความถูกต้องสูงขึ้นโดยใช้การแปลงสัมพรรค (affine transformation) โดยกำหนดพารามิเตอร์เป็น 12 ค่า โดยเปรียบเทียบกับแปลงสัมพรรค ด้วยพารามิเตอร์ 6 และ 7 ค่า และกำหนดระยะทดสอบการสแกนที่ 30 60 และ 90 เมตร ซึ่งทำการทดลองเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระยะ ซึ่งการกำหนดพารามิเตอร์เป็น 12 ค่า นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในกรณีที่ใช้จุดที่ทราบค่าพิกัดในการแปลงสัมพรรคจำนวน 9 จุด

## 2.7 แนวคิดกับงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ดังนั้นการกำหนดกรอบแนวคิดและกระบวนการทำวิจัยทั้งการออกแบบพื้นที่สำหรับทดสอบและการประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์จะต้องศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินและการประมวลผลการยึดโยงค่าพิกัด โดยสามารถสรุปประเด็นที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

1) ระยะห่างระหว่างวัตถุและสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Cosarca, Jocea et al. 2009) ซึ่งความหนาแน่นของข้อมูลพอยท์คลาวด์จะลดลงเมื่อระยะห่างของการสแกนมากขึ้น (Soudarissanane, Lindenbergh et al. 2011)

2) กระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัด โดยแบ่งได้เป็นการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงตรงเมื่อทราบค่าพิกัดหมุดควบคุมทางราบและหมุดควบคุมทางตั้ง และการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

(Geoff 2005) โดยการแปลงค่าพิกัด (3D Affine Transformation) ข้อมูลพอยท์คลาวด์เข้ากับจุดควบคุมค่าพิกัด (Ground Control Points, GCP)

3) จำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Reshetyuk 2009) เมื่อกำหนดระยะเวลาการสแกนระหว่างวัตถุและเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การเพิ่มจำนวนสถานีจะทำให้ข้อมูลพอยท์คลาวด์มีความหนาแน่นสูงขึ้น

จากประเด็นที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะนำไปสู่การกำหนดกรอบแนวคิดและวิธีการในการดำเนินงานวิจัยในการศึกษา เพื่อออกแบบกรณีศึกษาให้ครอบคลุมตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในบทที่ 3





## บทที่ 3

### การดำเนินงาน

การวางแผนการดำเนินงานวิจัยจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย รวมถึงแนวคิดที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 ดังนั้นการออกแบบสนามทดสอบ รวมถึงการเลือกสถานที่ทดสอบต้องครอบคลุมการศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนได้แก่ ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองและสามสถานี นอกจากนี้จะต้องออกแบบจุดตรวจสอบเพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกนในแต่ละกรณีของปัจจัยข้างต้น โดยข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกนนั้นจะต้องผ่านการประมวลผลบนโปรแกรม Cloud Compare ทั้งกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

จากแผนการดำเนินงานวิจัยข้างต้นสามารถแจกแจงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้ การออกแบบกรณีศึกษา การวัดค่าพิกัดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ และวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในแต่ละกรณีศึกษาด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบแบบความแปรปรวนของสองประชากร

#### 3.1 การออกแบบกรณีศึกษา

สนามทดสอบที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคำนึงถึงพื้นที่โล่งขนาดใหญ่มีด้านยาวประมาณ 200 เมตร และด้านกว้างประมาณ 100 เมตร และวัตถุที่สแกนมีขนาดสูง มีแนวลึกในแนวระนาบต่างกัน อัฒจันทร์ของสนามกีฬาเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุในการสแกน จึงเลือกสนามทดสอบเป็นสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีแนวการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย



**รูปที่ 3.1** สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(<http://www.cusc.chula.ac.th/wordpress/chulalongkorn-stadium/>)

กำหนดการศึกษาโดยแบ่งการศึกษาเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี และปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี

- 1) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยแบ่งการศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะต่างๆ ดังนี้

- 1.1 ระยะห่าง 30 เมตร
- 1.2 ระยะห่าง 60 เมตร
- 1.3 ระยะห่าง 90 เมตร
- 1.4 ระยะห่าง 120 เมตร

1.5 ระยะห่าง 150 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะต่างๆ ดังนี้

2.1 ระยะห่าง 30 เมตร

2.2 ระยะห่าง 60 เมตร

2.3 ระยะห่าง 90 เมตร

2.4 ระยะห่าง 120 เมตร

2.5 ระยะห่าง 150 เมตร

2) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร และมีระยะห่างของสถานี ดังนี้

1.1 ระยะห่าง 5 เมตร

1.2 ระยะห่าง 10 เมตร

1.3 ระยะห่าง 15 เมตร

1.4 ระยะห่าง 20 เมตร

1.5 ระยะห่าง 25 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร และมีระยะห่างของสถานี ดังนี้

2.1 ระยะห่าง 5 เมตร

2.2 ระยะห่าง 10 เมตร

2.3 ระยะห่าง 15 เมตร

2.4 ระยะห่าง 20 เมตร

2.5 ระยะห่าง 25 เมตร

กรณีที่ 3 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร และมีระยะห่างของสถานี ดังนี้

3.1 ระยะห่าง 5 เมตร

3.2 ระยะห่าง 10 เมตร

3.3 ระยะห่าง 15 เมตร

3.4 ระยะห่าง 20 เมตร

3.5 ระยะห่าง 25 เมตร

กรณีที่ 4 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร และมีระยะห่างของสถานี ดังนี้

4.1 ระยะห่าง 5 เมตร

4.2 ระยะห่าง 10 เมตร

4.3 ระยะห่าง 15 เมตร

4.4 ระยะห่าง 20 เมตร

4.5 ระยะห่าง 25 เมตร

3) ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะต่างๆ ดังนี้

1.1 ระยะห่าง 30 เมตร

1.2 ระยะห่าง 90 เมตร

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะต่างๆ ดังนี้

2.1 ระยะห่าง 30 เมตร

2.2 ระยะห่าง 90 เมตร

### 3.1.1 การวางแผนงานสนาม

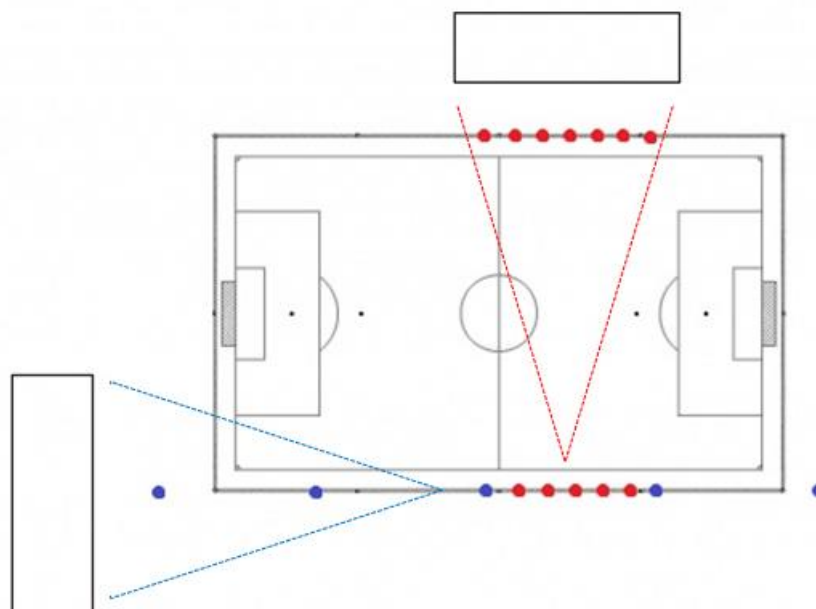
เนื่องจากต้องใช้สนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในการทำวิจัย ผู้วิจัยจะต้องดำเนินการทำหนังสือเพื่อขอใช้สถานที่กับศูนย์กีฬาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยกำหนดการดำเนินงานสนามเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างหมุดควบคุมที่ใช้เป็นสถานีในการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การสแกนเก็บข้อมูลอัตโนมัติของสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการเก็บข้อมูลจุดพิกัดที่ทราบค่าและจุดตรวจสอบ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

### 3.1.1.1 การสร้างหมุดควบคุมที่ใช้เป็นสถานีในการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การสร้างหมุดควบคุมแบ่งเป็นการหาค่าพิกัดทางราบโดยใช้การทำวงรอบปิดด้วยกล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น Topcon รุ่น DS-101AC ที่มีค่าความถูกต้องของการวัดมุม 1 ฟลิปดา ระบบชดความเอียงแกนกล้องชนิดสองแกน  $\pm 6$  ฟลิปดา และค่าความถูกต้องในการวัดระยะ  $2 \pm 2$  ppm จะทำให้ได้ค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางราบอยู่ในระดับ  $\pm 3$  มิลลิเมตร และการหาค่าพิกัดทางตั้งด้วยกล้องระดับอัตโนมัติ Leica รุ่น DNA03 จะทำให้ได้ค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางตั้งอยู่ในระดับ  $\pm 2$  มิลลิเมตร

### 3.1.1.2 การสแกนเก็บข้อมูลอัตโนมัติของสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดจุดสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon รุ่น GLS-2000 ทั้งหมด 15 สถานี โดยกำหนดความละเอียดในการสแกนอยู่ที่ระดับ 3.1 มิลลิเมตรต่อระยะทาง 10 เมตร



รูปที่ 3.2 แสดงบริเวณพื้นที่ทดสอบภายในสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (ปัจจัยที่ 1 สีน้ำเงิน, ปัจจัยที่ 2 สีแดง)

เมื่อเลือกพื้นที่ทดสอบก็สามารถกำหนดสถานีในการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินได้ดังนี้

1) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้นแสดงบริเวณส่วนที่ใช้ทดสอบในการสแกนกว้าง 60 เมตร และมีระยะการสแกนแสดงจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นจุดสีน้ำเงินทั้งหมด 5 สถานี แต่ละสถานีห่างกัน 30 เมตร ดังรูปที่ 3.2

2) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีนั้นแสดงบริเวณส่วนที่ใช้ทดสอบในการสแกนกว้าง 60 เมตร และระยะห่างระหว่างสถานีในการทดสอบทั้งหมด 5 ระยะ โดยแสดงเป็นจุดสีแดงดังรูปที่ 3.2

### 3.1.1.3 การเก็บข้อมูลจุดพิกัดที่ทราบค่าและจุดตรวจสอบ

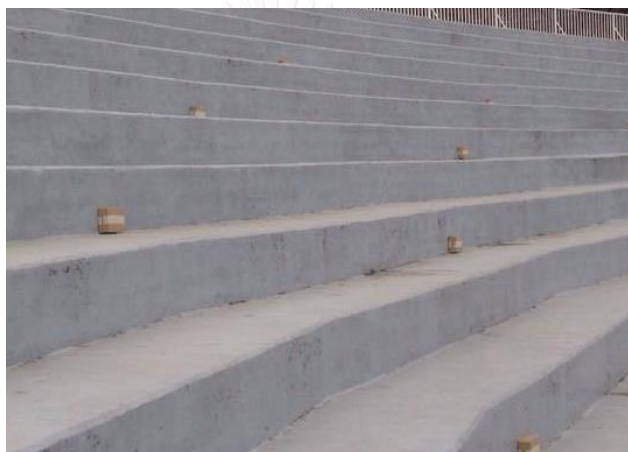
การเป็นข้อมูลจุดพิกัดที่ทราบค่าและจุดตรวจสอบจำนวน 40 จุดในแต่ละปัจจัยด้วยกล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น DS-101AC ซึ่งมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon รุ่น GLS-2000

## 3.2 การวัดค่าพิกัดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ

เนื่องจากการศึกษาปัจจัยในแต่ละกรณีจะต้องทำการทดสอบทั้งกระบวนการรังวัดโยงยึดพิกัดทางตรงและการรังวัดโยงยึดพิกัดทางอ้อม ซึ่งกระบวนการรังวัดโยงยึดพิกัดทางอ้อมจำเป็นต้องใช้จุดควบคุม (Ground Control Points, GCP) โดยการเก็บค่าพิกัดของจุดควบคุมจะต้องมีค่าความถูกต้องสูงกว่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการสแกน โดยเลือกใช้กล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น DS-101AC ที่มีค่าความถูกต้องของการวัดมุม 1 ฟลิปดา ระบบชดความเอียงแกนกล้องชนิดสองแกน  $\pm 6$  ฟลิปดา และค่าความถูกต้องในการวัดระยะ  $2 \pm 2$  ppm นอกจากนี้กล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น DS-101AC ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลค่าพิกัดจุดตรวจสอบ (Check points) จำนวน 30 จุด ในแต่ละปัจจัย โดยมีการออกแบบจุดควบคุมและจุดตรวจดังนี้

### 3.2.1 ข้อมูลจุดควบคุมค่าพิกัดและจุดตรวจสอบของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้อง เนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดถูกกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

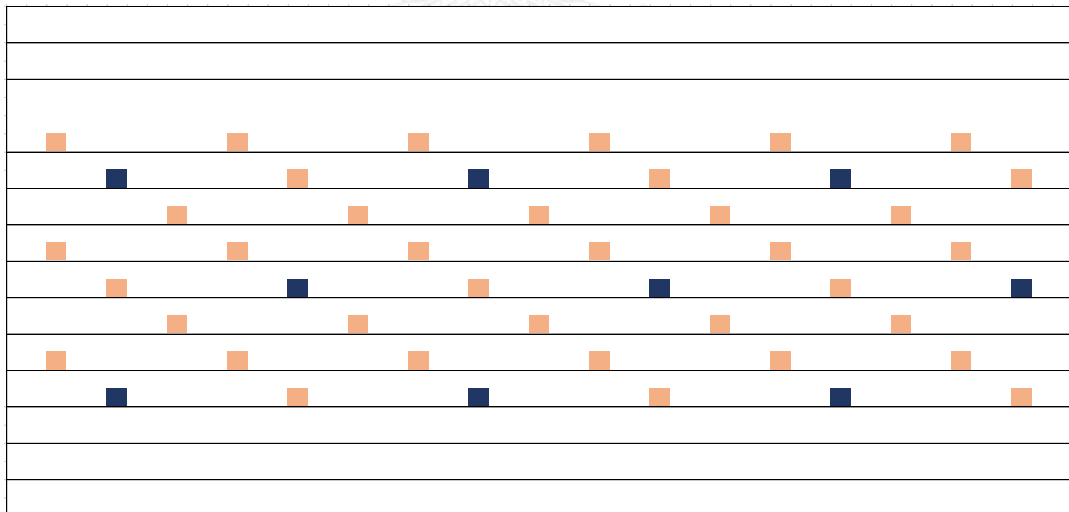
เนื่องจากการศึกษาในปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดถูกกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้น เลือกอ้อมจันทร์ฝั่งที่ไม่มีวัดถูกหรือจุดที่มองเห็นชัดเจนเพียงพอ (well-defined points) จึงจำเป็นต้องใช้เป้าจุดควบคุมและจุดตรวจสอบเป็นลักษณะเป้าสามมิติที่ทำจากกล่องกระดาษขนาดกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และสูง 6 เซนติเมตร จำนวน 40 จุด โดยใช้เป็นจุดตรวจสอบจำนวน 30 จุด ให้เป็นไปตามมาตรฐาน NSSDA ดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างกล่องที่ใช้เป็นตัวแทนเป้าสามมิติ



รูปที่ 3.4 แสดงพื้นที่บนอัฒจันทร์ในการติดตั้งเป้าสามมิติครอบคลุมบริเวณที่สแกน



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมและจุดตรวจในแต่ละแถวของอัฒจันทร์ มีระยะห่างระหว่างกล่อง 3 เมตร โดยตำแหน่งสีน้ำตาลเป็นจุดตรวจสอบ และตำแหน่งสีดำเป็นจุดควบคุมค่าพิกัด

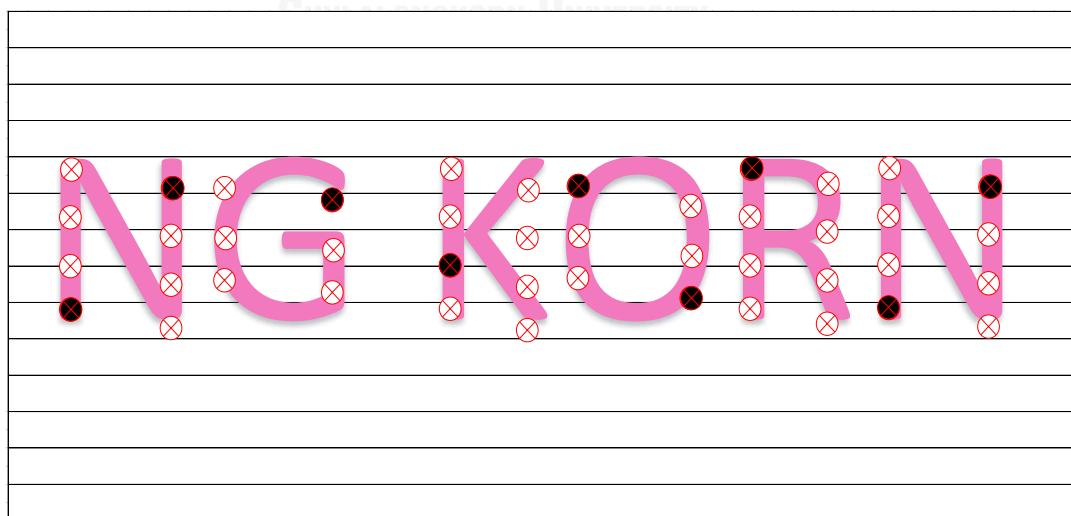


3.2.2 ข้อมูลจุดพิกัดควบคุมและจุดตรวจสอบของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี

เนื่องจากการศึกษาในปัจจัยที่สองนั้นเลือกอักขรที่มีตัวอักษรบนอักขรจะเลือกใช้มุมตัวอักษรแต่ละชั้นของอักขร เนื่องจากเป็นจุดที่มองเห็นชัดเจนเพื่อใช้เป็นจุดควบคุมและจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุด โดยแบ่งเป็นจุดตรวจสอบจำนวน 30 จุด เช่นเดียวกับปัจจัยแรก ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงพื้นที่บนอักขรที่ครอบคลุมการสแกนและมุมต่างๆบนตัวอักษรแทนจุดควบคุมค่าพิกัด (GCP) และจุดตรวจสอบ (Check point)



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการวางจุดควบคุมและจุดตรวจในแต่ละแถวของอักขร ใช้บริเวณขอบสี่ที่หาบนอักขรตัดกับชั้นบันได บริเวณจุดสีขาวเป็นจุดตรวจสอบและสีดำเป็นจุดควบคุม

### 3.2.3 กระบวนการรังวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบและจุดควบคุมค่าพิกัด

การวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบและจุดควบคุมค่าพิกัดนั้นนอกจากเลือกใช้กล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น DS-101AC ที่มีค่าความถูกต้องของการวัดมุม 1 ฟิลิปดา ระบบชดความเอียงแกนกล้องชนิดสองแกน  $\pm 6$  ฟิลิปดา และค่าความถูกต้องในการวัดระยะ  $2 \pm 2$  ppm แล้วกระบวนการวัดมีความสำคัญอย่างยิ่ง จำเป็นที่จะต้องมีความมาตรฐานในงานรังวัดจุดควบคุมค่าพิกัดให้อยู่ในระดับ 3 มิลลิเมตร โดยอาศัยมาตรฐานงานรังวัดหมุดควบคุมงานชั้น 2 คลาส 2 ที่มีข้อกำหนดการใช้กล้องประมวลผลรวมให้รังวัดทั้งหมด 4 จุด (วิชัย เยี่ยงวีรชน 2555) แต่ละชุดจะต้องมีมุมต่างกับค่าเฉลี่ยทั้ง 4 ชุด ไม่เกิน 5 ฟิลิปดา และการวัดระยะทางของแต่ละชุดต่างกับค่าเฉลี่ยไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

## 3.3 การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

### 3.3.1 การเลือกรูปแบบการสแกน

การเก็บรวบรวมข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาทั้งกระบวนการโยนยึดพิกัดทางตรงและกระบวนการโยนยึดพิกัดทางอ้อมในทุกกรณีที่ศึกษา โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon รุ่น GLS-2000 โดยตั้งค่าความละเอียดของพอยท์คลาวด์อยู่ที่ 3.1 มิลลิเมตร ต่อ ระยะการสแกน 10 เมตร ด้วยโหมดมาตรฐานของเครื่อง จำนวน 1 เครื่อง สแกนทั้งหมด 17 สถานี ซึ่งจะได้ข้อมูลพอยท์คลาวด์จำนวน 1 ชุด ต่อ 1 สถานี

### 3.3.2 การเก็บข้อมูลของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสำหรับการเก็บข้อมูลสำหรับปัจจัยนี้ จะตั้งทั้งหมด 5 สถานีที่ระยะต่างกันดังรูปที่ 3.2 (สีน้ำเงิน) โดยมีด้านกว้างของอ้อมจันทร์และมุมของการสแกนดังนี้

1. ระยะ 30 เมตร สแกนอ้อมจันทร์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 90 องศา
2. ระยะ 60 เมตร สแกนอ้อมจันทร์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 53 องศา

3. ระยะ 90 เมตร สแกนอัลติจันท์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 37 องศา
4. ระยะ 120 เมตร สแกนอัลติจันท์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 28 องศา
5. ระยะ 150 เมตร สแกนอัลติจันท์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 23 องศา

### 3.3.3 การเก็บข้อมูลของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองและสามสถานี

การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสำหรับการเก็บข้อมูลสำหรับปัจจัยนี้ จะตั้งทั้งหมด 10 สถานีที่ 2 ระยะ คือ 30 และ 90 เมตร ดังรูปที่ 3.2 (สีแดง) แต่ละระยะสแกนที่ตำแหน่ง 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร โดยมีด้านกว้างของอัลติจันท์และมุมของการสแกนดังนี้

1. ระยะ 30 เมตร สแกนอัลติจันท์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 90 องศา
2. ระยะ 90 เมตร สแกนอัลติจันท์หน้ากว้าง 60 เมตร มุมราบของการสแกนที่ 37 องศา

### 3.4 การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์

เมื่อได้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินครบทุกสถานีที่ต้องการจะต้องนำไฟล์ที่ได้จากการสแกนเปิดข้อมูลเพื่อตรวจสอบการบันทึกค่าของแต่ละสถานี ได้แก่ ค่าพิกัดสถานี ค่าพิกัดสถานีหลัง และค่าความสูงของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ผ่านโปรแกรม Topcon ScanMaster ซึ่งจำเป็นสำหรับการนำเข้าข้อมูลจากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon รุ่น GLS-2000 และนำออกข้อมูลเป็นไฟล์นามสกุลอื่นๆ เพื่อใช้ในการประมวลต่อไป

### 3.4.1 รูปแบบไฟล์ที่เลือกใช้ในการประมวลผล

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้รูปแบบไฟล์ LAS ในการประมวลผล ซึ่งรูปแบบไฟล์ LAS นั้นเป็นรูปแบบไฟล์ที่นิยมใช้อย่างมากในการจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์สามมิติ โดยได้รับการพัฒนามาจากการจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์ของ LIDAR ที่ประกอบด้วยข้อมูลค่าพิกัด X, Y และ Z ซึ่งรวมรวมเป็นรูปแบบไฟล์ไบนารี

### 3.4.2 การประมวลผลบนโปรแกรม CloudCompare

โปรแกรม CloudCompare เป็นโปรแกรมที่ใช้จัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่สามารถดาวน์โหลดฟรี โดยวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาโปรแกรม CloudCompare นั้นคือการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลพอยท์คลาวด์สามมิติที่มีความหนาแน่นสูง ทั้งนี้งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรม CloudCompare เพื่อใช้ในการประมวลผลกระบวนการโยยัดค่าพิกัดทางตรงและกระบวนการโยยัดค่าพิกัดทางอ้อม

## 3.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในแต่ละกรณีศึกษาด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบสมมติฐาน

### 3.5.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์

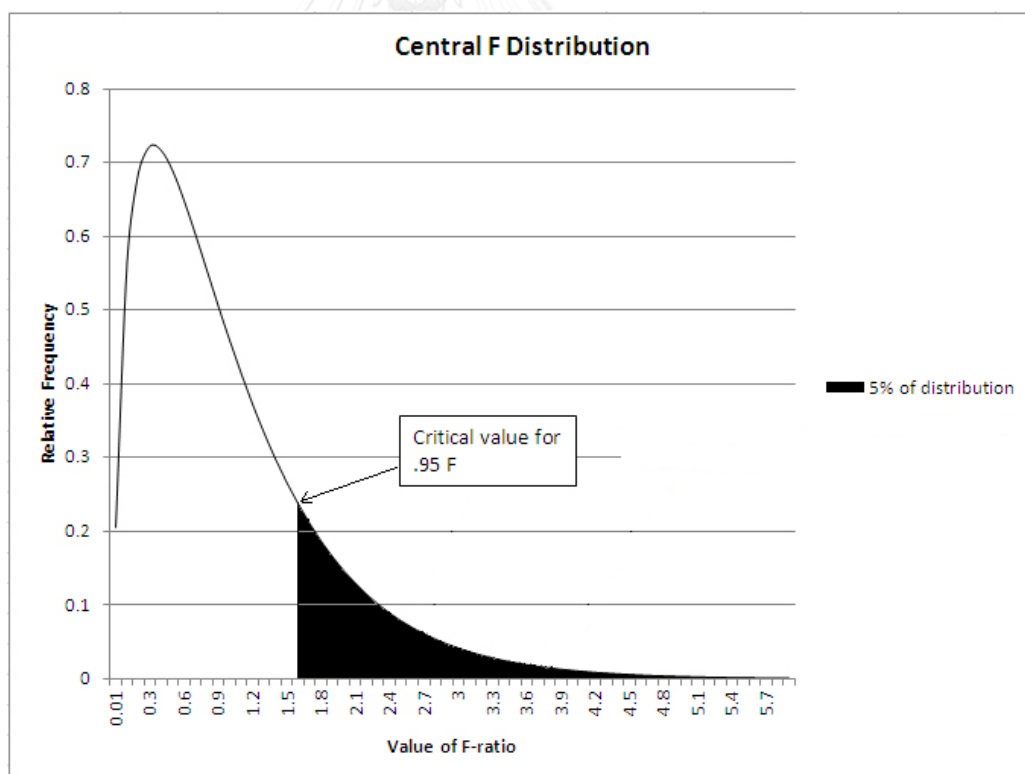
การวิเคราะห์ข้อมูลพอยท์คลาวด์นั้นผู้วิจัยได้กำหนดจุดตรวจสอบในปัจจัยที่ 1 ไว้โดยใช้เป้าเป็นลักษณะสามมิติซึ่งทำมาจากกล้องกระดาศและกำหนดมุมซ้ายบนของกล่องเพื่อเป็นตัวแทนของจุดพิกัดตรวจสอบจำนวน 30 จุดตรวจเพื่อเป็นตัวแทนผลการทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานของ NSSDA และแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในรูปแบบตารางทั้งค่าพิกัดทาง X Y และ Z สำหรับปัจจัยที่ 2 ผู้วิจัยเลือกใช้จุดตรวจตามธรรมชาติของวัตถุเนื่องจากอัมจันทร์ที่เป็นสนามทดสอบนั้นมีสีทำให้เห็นเด่นชัดทำให้ง่ายต่อการมองเห็นจุดตรวจสอบและกำหนดจุดตรวจสอบจำนวน 30 จุด ตรวจเพื่อเป็นตัวแทนผลการทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานของ NSSDA และแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์ในรูปแบบตารางทั้งค่าพิกัดทาง X Y และ Z เช่นเดียวกับปัจจัยที่ 1

### 3.5.2 การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร (f-test Statistic)

สถิติทดสอบแบบความแปรปรวนของสองประชากรคือการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกรณีกุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกัน เพื่อพิสูจน์ว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 ประชากรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

#### 3.5.2.1 การแจกแจงเอฟ (F-distribution)

การแจกแจงแบบเอฟมีความสำคัญในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร โดยเมื่อ  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  คือความแปรปรวนของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ จะได้  $f = \frac{S_1^2}{S_2^2}$  ที่เป็นตัวแทนในการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบเอฟ



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการแจกแจงแบบเอฟและบริเวณที่ปฏิเสธสมมติฐานที่ความเชื่อมั่น

3.5.2.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของความแปรปรวนของประชากร

1) ตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรได้แก่ กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากการกัน และประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบ

3) กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น

$$4) \text{ คำนวณค่า } f = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (3.1)$$

5) กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า  $f$  วิกฤตจากค่าระดับความความเชื่อมั่น

และองศาเสรีของประชากร (df)

$$\text{เมื่อ } df_1 = n_1 - 1 \text{ และ } df_2 = n_2 - 1$$

6) สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

3.5.3 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร (t-test Statistic)

การทดสอบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากการกัน โดยจะต้องพิจารณาว่าความแปรปรวนของประชากรของกลุ่มตัวอย่างเท่ากันหรือไม่ ซึ่งการใช้สถิติ t-test ทดสอบกรณีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกันนั้นมีสูตรที่ใช้ทดสอบอยู่ 2 สูตรด้วยกัน กล่าวคือ สูตรที่ใช้ในกรณีความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) หรือในกรณีกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากัน (t-test แบบ Pooled variance) และสูตรที่ใช้ในกรณีความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม มีค่าไม่เท่ากัน ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ) (t-test แบบ Separated variance)

3.5.3.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร กรณีเมื่อค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม มีค่าเท่ากัน ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ )

1) ตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรได้แก่ กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากการกัน และประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบ

3) กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น

4) ทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร

5) ทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร จาก t-test

$$\text{คำนวณค่า } t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{Sp^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (3.2)$$

$$\text{คำนวณค่า } Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3.3)$$

6) กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤตจากค่าระดับความเชื่อมั่นและองศาเสรีของประชากร (df)

$$\text{เมื่อ } df = n_1 + n_2 - 2$$

7) สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

3.5.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร กรณีเมื่อค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม มีค่าไม่เท่ากัน ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ )

1) ตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรได้แก่ กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน และประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

2) กำหนดสมมติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบ

3) กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น

4) ทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร

5) ทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร จาก t-test

$$\text{คำนวณค่า } t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)}} \quad (3.4)$$

6) กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤตจากค่าระดับความเชื่อมั่นและองศาเสรีของประชากร

$$\text{เมื่อ } df = \frac{\left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left( \frac{s_1^2}{n_1} \right)}{n_1 - 1} + \frac{\left( \frac{s_2^2}{n_2} \right)}{n_2 - 1}} \quad (3.5)$$

7) สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

## บทที่ 4

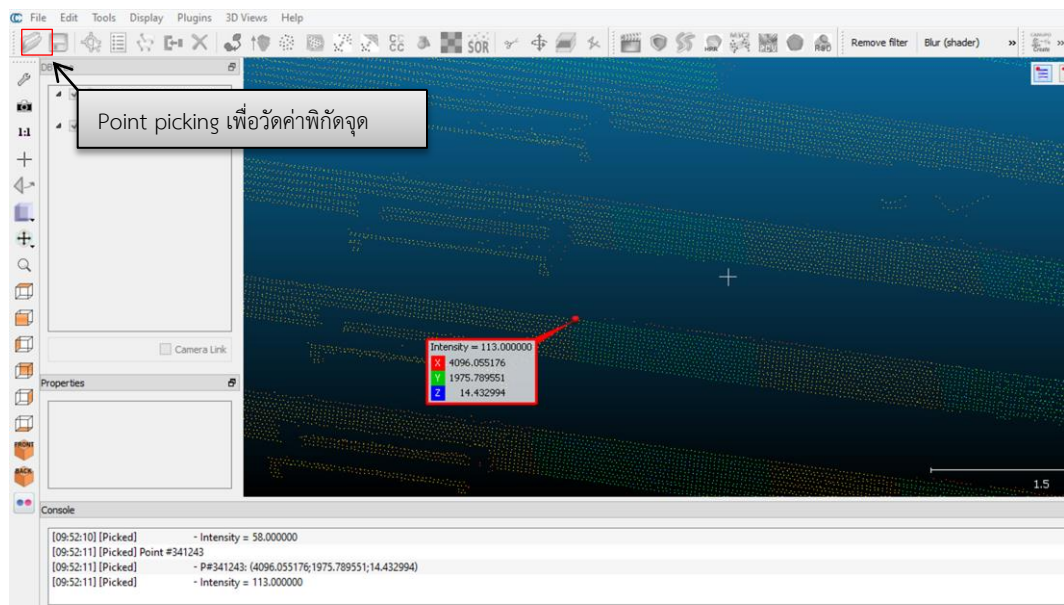
### ผลการดำเนินงาน

จากการผลการดำเนินงานที่เป็นไปตามขอบเขตการศึกษาปัจจัยที่กำหนดข้างต้นนั้น สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ทุกกรณีศึกษาโดยแสดงผลการดำเนินงานในรูปแบบตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในหน่วยเมตร และจัดทำรูปแบบแนวโน้มถัดไปของแต่ละปัจจัยโดยแสดงเป็นกราฟดังนี้

#### 4.1 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ

##### 4.1.1 การวัดค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์

การวัดค่าพิกัดบนข้อมูลพอยท์คลาวด์โดยใช้โปรแกรม cloud compare นั้นจะใช้ฟังก์ชัน point picking เลือกจุดพิกัดที่ตรงกับจุดตรวจ จากนั้นบันทึกค่าพิกัดที่ได้เพื่อใช้คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของการวัดค่าพิกัดข้อมูลพอยท์คลาวด์เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ



#### 4.1.2 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

เมื่อวัดค่าพิกัดพอยท์คลาวด์เรียบร้อยแล้วนำค่าที่ได้คำนวณบนโปรแกรม excel โดยค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดหาได้จาก  $error = \sqrt{(E_l - E_o)^2 + (N_l - N_o)^2 + (Z_l - Z_o)^2}$  ดังรูปที่ 4.2 และจะแสดงตารางผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทุกกรณีศึกษาในภาคผนวก ค

Point	E	N	Z	error
1 GCP				
2 Q1	3987.344	2066.117	16.338	16.332
3 Q2	3987.865	2065.508	15.945	15.956
4 Q3	3988.388	2064.902	15.524	15.523
5 Q5	3989.450	2063.711	14.704	14.702
6 Q6	3989.979	2063.103	14.286	14.291
7 Q7	3990.504	2062.484	13.901	13.896
8 Q8	3991.039	2061.875	13.487	13.495
9 Q9	3991.568	2061.280	13.090	13.090
10 A1	4000.169	2071.243	14.654	14.650
11 A2	4001.088	2069.023	13.430	13.428
12 A3	4001.976	2066.785	12.207	12.200
13 B1	4003.906	2074.562	15.458	15.450
14 B2	4004.752	2072.328	14.222	14.228
15 B4	4006.504	2067.827	11.775	11.772
16 C1	4009.153	2075.558	15.025	15.017
17 C2	4009.917	2073.275	13.794	13.784
18 C3	4010.705	2070.994	12.550	12.550
19 D1	4014.551	2076.293	14.604	14.592
20 D3	4015.750	2071.638	12.163	12.156
21 E1	4018.501	2078.864	15.451	15.440
22 E2	4019.093	2076.498	14.196	14.196
23 E3	4019.570	2074.181	12.978	12.983
24 F4	4020.107	2071.831	11.749	11.745
25 F2	4024.431	2076.632	13.788	13.792
26 F3	4024.751	2074.260	12.558	12.561
27 G1	4029.835	2078.838	14.603	14.606
28 G2	4029.983	2076.431	13.388	13.385
29 G3	4030.103	2074.021	12.149	12.146
30 H2	4032.241	2078.203	14.188	14.177
31 H3	4032.361	2075.795	12.969	12.975
mean				1.98814E-05
RMSE				0.005

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

#### 4.2 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละกรณี

จากการประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ทั้งการรังวัดยึดโดยค่าพิกัดทางตรงและดาร์รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เมื่อวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์ที่จุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

##### 4.2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบ่งการศึกษาเป็นสองกรณีได้แก่ การรังวัดยึดโดยค่าพิกัดทางตรงและการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

### กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะการสแกนต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

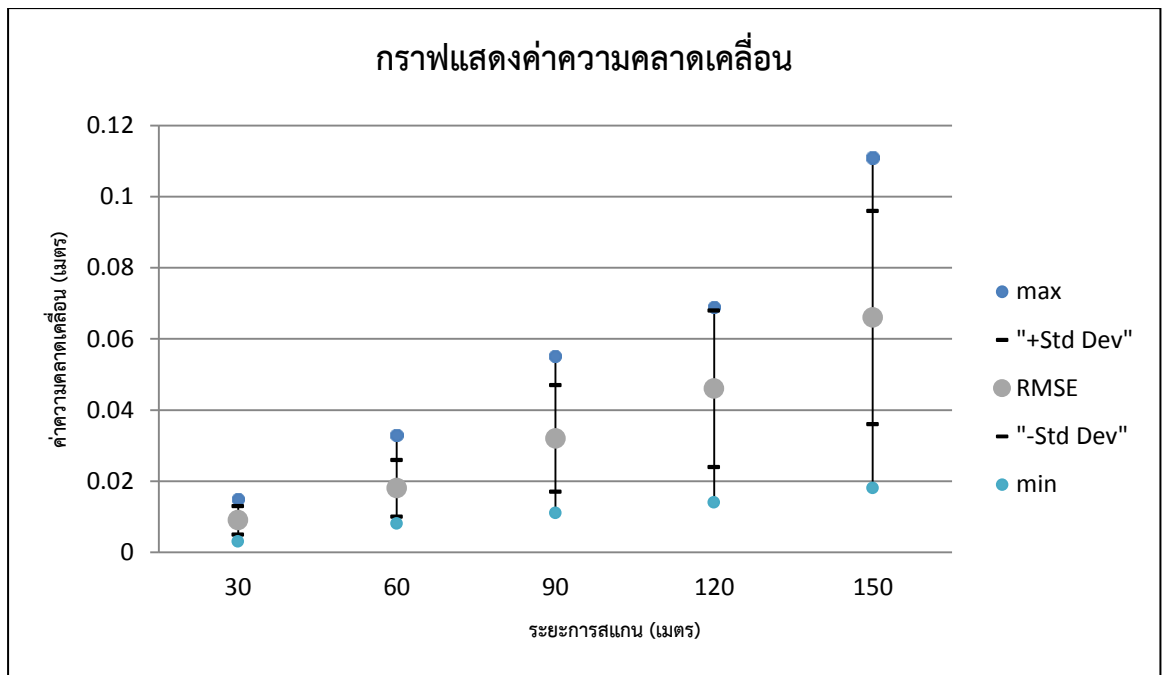
**ตารางที่ 4.1** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
30	0.001	0.010	0.005	0.000	0.011	0.004	0.001	0.012	0.007	0.003	0.015	0.009
60	0.001	0.017	0.008	0.001	0.016	0.006	0.004	0.033	0.015	0.007	0.033	0.018
90	0.002	0.018	0.010	0.002	0.013	0.007	0.006	0.044	0.029	0.011	0.056	0.032
120	0.004	0.027	0.018	0.003	0.026	0.011	0.010	0.056	0.042	0.013	0.069	0.046
150	0.010	0.042	0.028	0.009	0.045	0.026	0.011	0.072	0.053	0.018	0.095	0.066

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะการสแกนมากขึ้นโดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะ 30 60 90 120 และ 150 เมตร ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

**ตารางที่ 4.2** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร)

ระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานี	X	Y	Z	RMSE
30	0.005	0.004	0.007	0.009
60	0.008	0.006	0.015	0.018
90	0.010	0.007	0.029	0.032
120	0.018	0.011	0.042	0.046
150	0.028	0.026	0.053	0.066



**รูปที่ 4.3** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะการสแกนต่างกั นดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกนของ การรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อม (หน่วยเมตร)

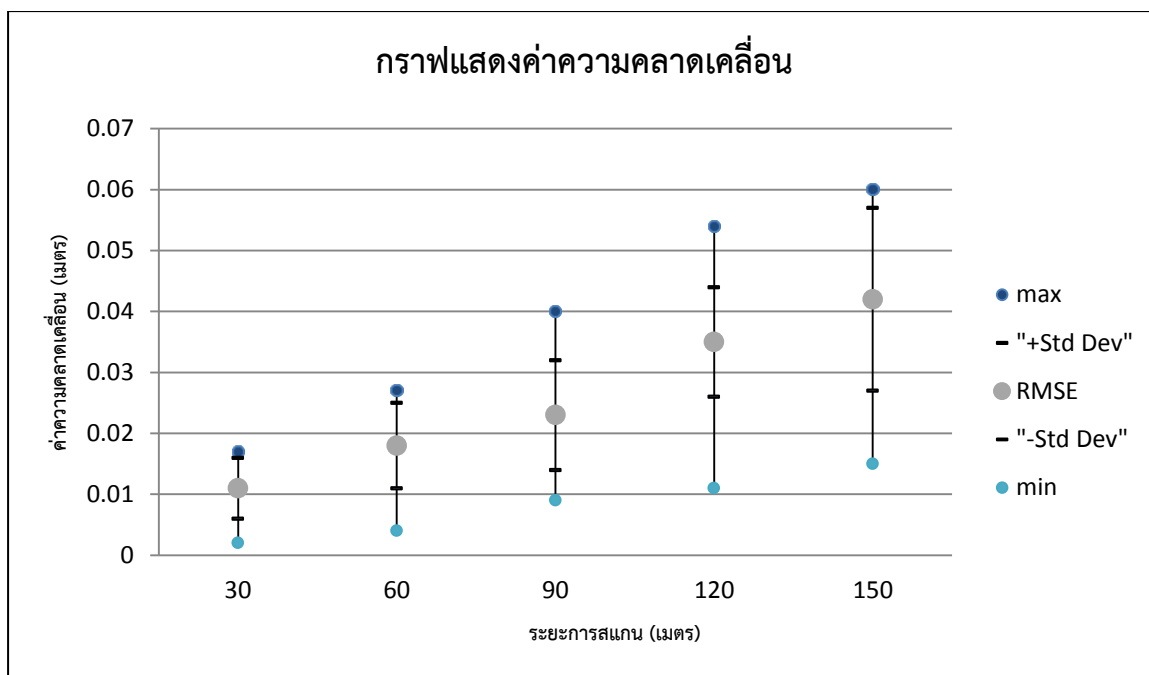
ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
30	0.000	0.009	0.005	0.001	0.011	0.005	0.000	0.014	0.008	0.002	0.017	0.011
60	0.002	0.012	0.009	0.002	0.010	0.007	0.005	0.018	0.014	0.018	0.027	0.018
90	0.004	0.019	0.008	0.003	0.017	0.008	0.003	0.033	0.020	0.004	0.040	0.023
120	0.004	0.022	0.012	0.002	0.018	0.011	0.005	0.036	0.028	0.011	0.054	0.035
150	0.001	0.027	0.019	0.002	0.023	0.010	0.011	0.057	0.036	0.015	0.060	0.042

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะการสแกนมากขึ้นโดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะ 30 60 90 120 และ 150 เมตร ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร)

ระยะห่างระหว่างวัตถุ กับสถานี	X	Y	Z	RMSE
30	0.005	0.005	0.008	0.011
60	0.009	0.007	0.014	0.018
90	0.008	0.008	0.020	0.023
120	0.012	0.011	0.028	0.032
150	0.019	0.010	0.036	0.042





**รูปที่ 4.4** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

4.2.2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณีได้แก่ การรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร การรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร การรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร และการรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร

กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะห่างของสถานีต่างกัน ดังตารางที่ 4.5

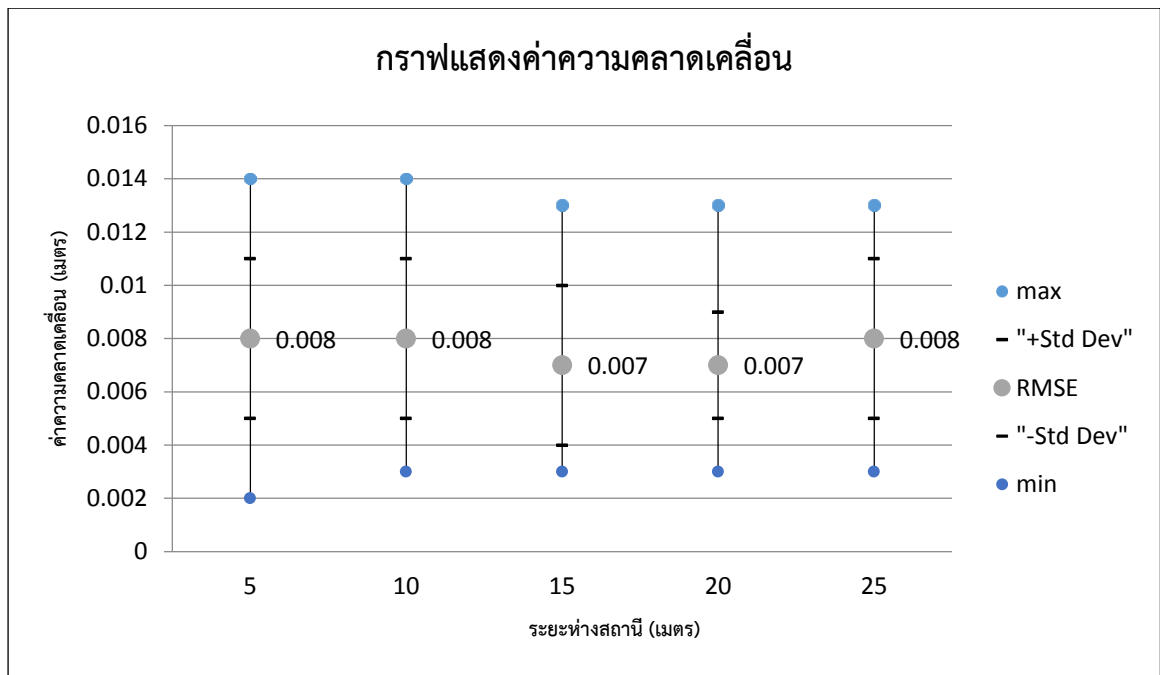
**ตารางที่ 4.5** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการรังวัดด้วยกล้องพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
5	0.000	0.007	0.004	0.000	0.008	0.005	0.001	0.009	0.005	0.002	0.014	0.008
10	0.000	0.010	0.004	0.001	0.009	0.005	0.000	0.009	0.005	0.003	0.014	0.008
15	0.000	0.008	0.004	0.001	0.010	0.004	0.001	0.009	0.004	0.003	0.013	0.007
20	0.001	0.008	0.005	0.001	0.007	0.004	0.000	0.008	0.004	0.003	0.013	0.007
25	0.000	0.009	0.004	0.000	0.009	0.004	0.001	0.010	0.005	0.003	0.013	0.008

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร และรังวัดด้วยค่าพิกัดทางตรง ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าอยู่ในระดับ 7 – 8 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5

**ตารางที่ 4.6** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดด้วยกล้องพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร)

ระยะห่างสถานี	X	Y	Z	RMSE
5	0.004	0.005	0.005	0.008
10	0.004	0.005	0.005	0.008
15	0.004	0.004	0.004	0.007
20	0.005	0.004	0.004	0.007
25	0.004	0.004	0.005	0.008



**รูปที่ 4.5** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 30 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

กรณีที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะห่างของสถานีต่างกัน ดังตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตร (หน่วยเมตร)

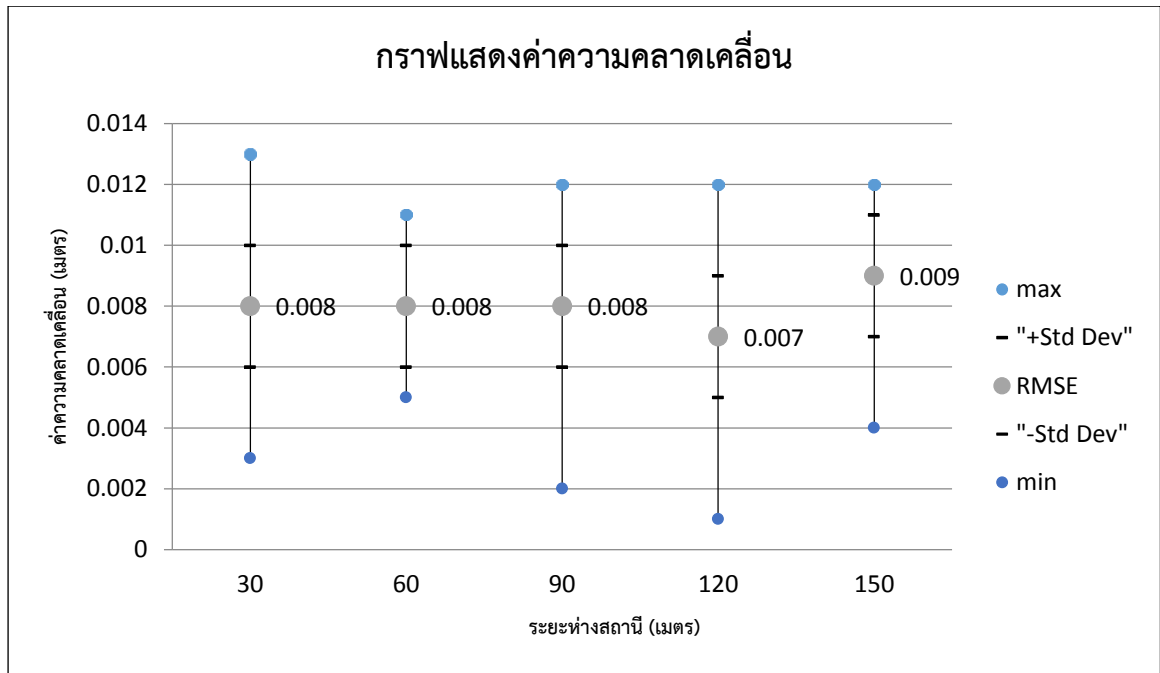
ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
5	0.001	0.006	0.004	0.000	0.009	0.004	0.000	0.009	0.005	0.003	0.003	0.008
10	0.000	0.009	0.004	0.000	0.008	0.005	0.000	0.010	0.005	0.005	0.011	0.008
15	0.000	0.007	0.004	0.001	0.010	0.005	0.001	0.011	0.006	0.002	0.012	0.008
20	0.001	0.008	0.003	0.001	0.007	0.005	0.000	0.008	0.004	0.001	0.012	0.007
25	0.000	0.007	0.004	0.000	0.009	0.005	0.002	0.010	0.005	0.004	0.012	0.009

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร และรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าอยู่ในระดับ 7 – 9 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6

**ตารางที่ 4.8** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 30 เมตรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี หน่วยเมตร)

ระยะห่างสถานี	X	Y	Z	RMSE
5	0.004	0.004	0.005	0.008
10	0.004	0.005	0.005	0.008
15	0.004	0.005	0.006	0.008
20	0.003	0.005	0.004	0.007
25	0.004	0.005	0.005	0.009





**รูปที่ 4.6** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 30 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

กรณีที่ 3 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะห่างของสถานีต่างกัันดังตารางที่ 4.9

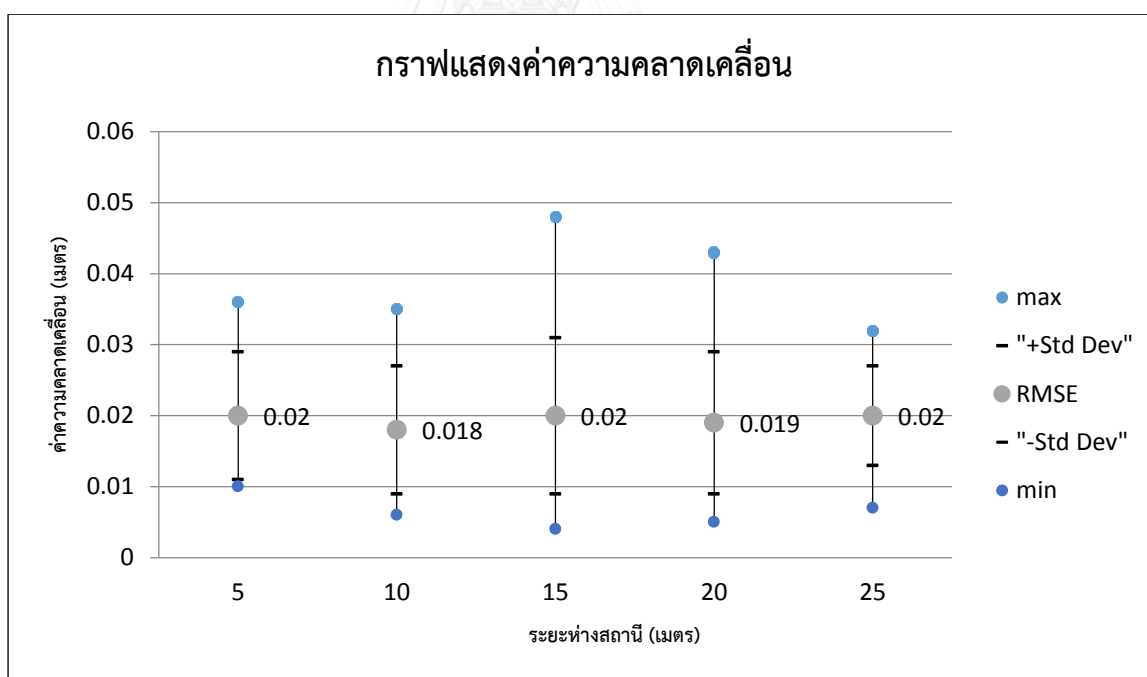
**ตารางที่ 4.9** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
5	0.001	0.029	0.009	0.000	0.022	0.009	0.002	0.035	0.016	0.010	0.036	0.020
10	0.000	0.012	0.004	0.001	0.029	0.011	0.001	0.032	0.013	0.006	0.035	0.018
15	0.000	0.012	0.005	0.000	0.020	0.009	0.001	0.051	0.017	0.004	0.048	0.020
20	0.001	0.012	0.005	0.001	0.022	0.009	0.000	0.041	0.016	0.005	0.043	0.019
25	0.001	0.013	0.007	0.000	0.024	0.012	0.002	0.026	0.014	0.007	0.032	0.020

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร และรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าอยู่ในระดับ 18 – 20 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.7

**ตารางที่ 4.10** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรงที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร)

ระยะห่างสถานี	X	Y	Z	RMSE
5	0.009	0.009	0.016	0.020
10	0.004	0.011	0.013	0.018
15	0.005	0.009	0.017	0.020
20	0.005	0.009	0.016	0.019
25	0.007	0.012	0.014	0.020



**รูปที่ 4.7** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 90 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัด

ทางตรง

กรณีที่ 4 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะห่างของสถานีต่างกัน ดังตารางที่ 4.11

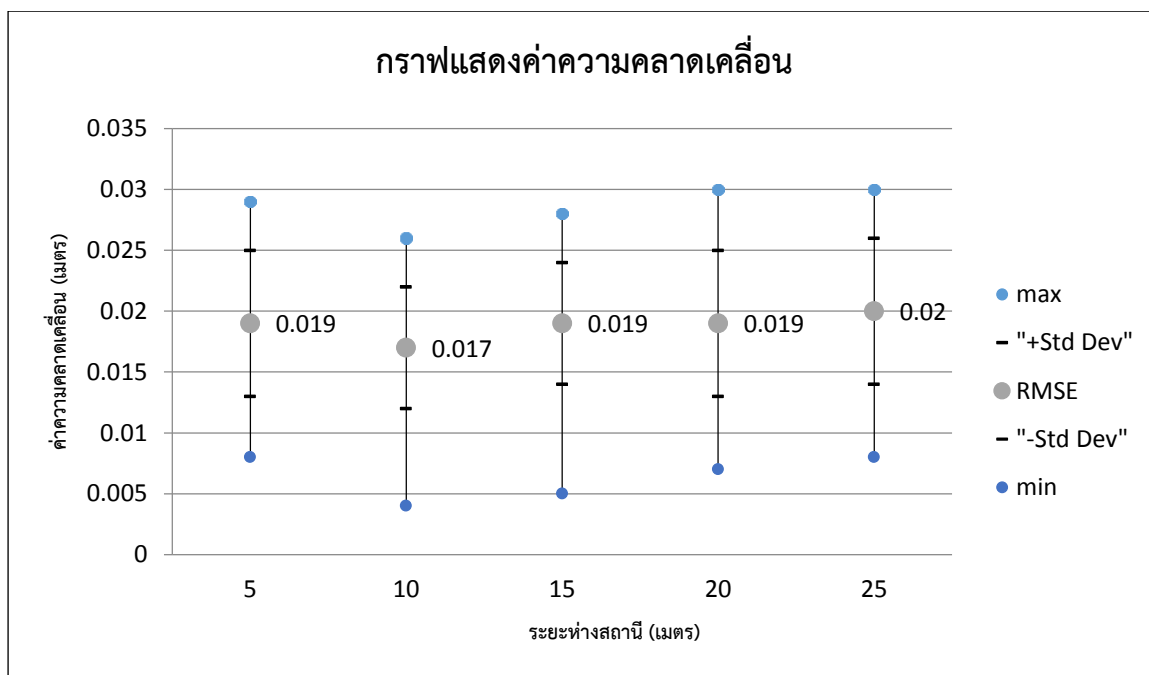
**ตารางที่ 4.11** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
5	0.001	0.011	0.007	0.000	0.015	0.009	0.001	0.023	0.015	0.008	0.029	0.019
10	0.001	0.012	0.006	0.001	0.016	0.009	0.003	0.025	0.014	0.004	0.026	0.017
15	0.001	0.012	0.007	0.001	0.011	0.009	0.004	0.024	0.016	0.005	0.028	0.019
20	0.001	0.014	0.007	0.000	0.016	0.010	0.001	0.024	0.015	0.007	0.030	0.019
25	0.000	0.013	0.008	0.003	0.017	0.010	0.002	0.026	0.016	0.008	0.030	0.020

เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร และรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าอยู่ในระดับ 17 - 20 มิลลิเมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร ดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.7

**ตารางที่ 4.12** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดยึดโยงพิกัดทางอ้อมที่มีระยะห่างการสแกนที่ 90 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสองสถานี (หน่วยเมตร)

ระยะห่างสถานี	X	Y	Z	RMSE
5	0.007	0.009	0.015	0.019
10	0.006	0.009	0.014	0.017
15	0.007	0.009	0.016	0.019
20	0.007	0.010	0.015	0.019
25	0.008	0.010	0.016	0.020



**รูปที่ 4.8** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 90 เมตร เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

4.2.3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณีได้แก่ การรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง และการรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

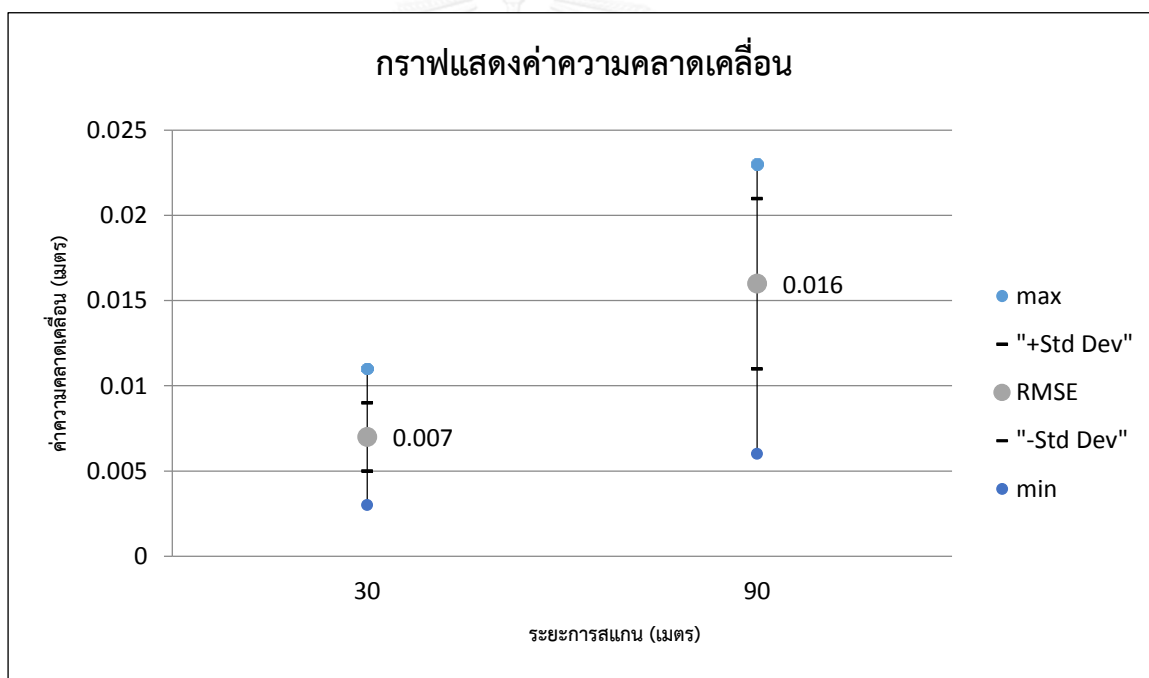
กรณีที่ 1 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะการสแกนต่างกัน ดังตารางที่ 4.13

**ตารางที่ 4.13** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของ การรังวัดยึดโยงพิกัดทางตรง (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
30	0.000	0.006	0.003	0.000	0.007	0.004	0.001	0.008	0.005	0.003	0.011	0.007
90	0.000	0.012	0.008	0.001	0.015	0.010	0.001	0.016	0.009	0.006	0.023	0.016

จากตารางที่ 4.13 เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสามสถานี และรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง ค่าความคลาดเคลื่อนจะที่ระยะการสแกน 90 เมตร จะสูงกว่าที่ระยะการสแกน 30 เมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่เป็นรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.9



**รูปที่ 4.9** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

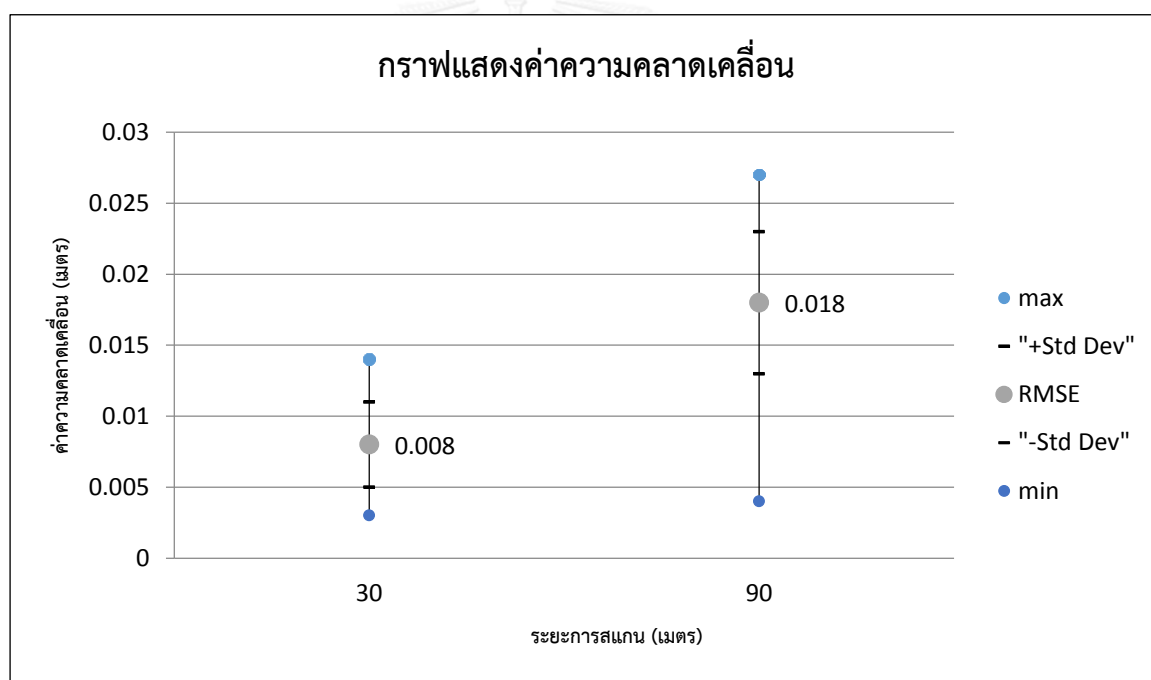
กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

จากการวัดค่าพิกัดของพอยท์คลาวด์จำนวน 30 จุด กรณีที่รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม เพื่อเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะการสแกนต่างกััน ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.14** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนขนาดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละแกน ของ การรังวัดด้วยวิธีพิคตทางอ้อม (หน่วยเมตร)

ระยะ	X			Y			Z			RMSE		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
30	0.001	0.008	0.004	0.000	0.008	0.004	0.000	0.009	0.005	0.003	0.014	0.008
90	0.000	0.016	0.009	0.001	0.015	0.009	0.003	0.020	0.012	0.004	0.027	0.018

จากตารางที่ 4.14 เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีสามสถานี และรังวัดด้วยค่า พิกตทางอ้อม ค่าความคลาดเคลื่อนจะที่ระยะการสแกน 90 เมตร จะสูงกว่าที่ระยะการสแกน 30 เมตร โดยสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่เป็นรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.10



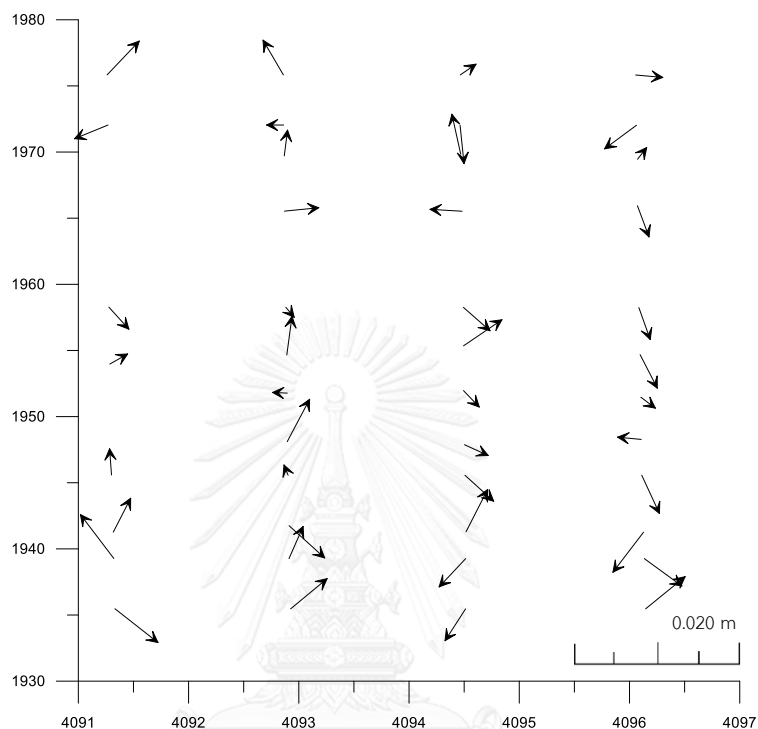
**รูปที่ 4.10** กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของ RMSE จากพอยท์คลาวด์ เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี เมื่อรังวัดด้วยวิธีการวัดด้วยวิธีพิคตทางอ้อม

### 4.3 การตรวจสอบข้อมูลพอยท์คลาวด์

สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งกรณีศึกษาไว้จำนวนมาก โดยต้องนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า คลาดเคลื่อนในแต่ละกรณี ดังนั้นจะต้องมีความมั่นใจว่าการหาค่าคลาดเคลื่อนนั้นไม่มีความ

คลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic errors) แผงอยู่ ผู้วิจัยเลือกใช้การวาดกราฟเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อน (vector errors) เพื่อสังเกตการกระจายตัว ทิศทาง และขนาดของเวกเตอร์

#### 4.3.1 ตัวอย่างเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อน (vector errors)



**รูปที่ 4.11** ตัวอย่างขนาดเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะ 30 เมตร

จากรูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างการวาดกราฟเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนเพื่อตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบในของมุลพอยท์คลาวด์ ในตัวอย่างนั้นแสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะ 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง จะสังเกตได้ว่าเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่สุดในการตรวจสอบ มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.7 แสดงว่าตัวอย่างค่าพิกัดไม่มีความผิดพลาดเนื่องจากการรังวัด (Gross Error) และไม่มีทิศทางที่แน่นอน ทั้งนี้จะแสดงเวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนของกรณีศึกษาทั้งหมดในภาคผนวก

#### 4.4 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

จากผลการศึกษาในแต่ละปัจจัยนั้นจะนำผลลัพธ์มาประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งกับจุดตรวจสอบที่ทราบค่าพิกัดจำนวน 30 จุด โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้การทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้สถิติทดสอบแบบการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร และการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร

##### 4.4.1 การทดสอบค่าความแปรปรวนของสองประชากร

การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กำหนดให้สมมติฐานสำหรับการทดสอบ

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ F test

กำหนดให้  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  คือ ค่าความแปรปรวนของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2

$$\text{จะได้ } F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มจากแต่ละประชากร 30 ตัวอย่าง จะได้  $F_{0.05,29,29} = 1.85430$  และบริเวณที่ปฏิเสธ คือ  $F > F_{0.05,29,29}$

##### 4.4.1.1 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบ่งกรณีศึกษาไว้ 2 กรณี ได้แก่ การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง และการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม โดยจะต้องทำการทดสอบความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากสองกรณี ได้ผลการทดสอบทางสถิติดังตารางที่ 4.15 เพื่อนำไปทดสอบค่าเฉลี่ยในลำดับต่อไป



**ตารางที่ 4.15** แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจาก ระยะห่างระหว่างวัดถูกกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยง ค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะต่างๆ

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัด ทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.31510	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
60	1.01192	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	3.14449	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
120	3.59373	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
150	2.42706	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัดถูกกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ การสแกนที่ระยะ 30 และ 60 เมตร ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.85430 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ การสแกนที่ระยะ 90 120 และ 150 เมตร

**4.4.1.2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี**

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี แบ่งกรณีศึกษาไว้ 4 กรณี ได้แก่การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร และการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมตรงที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร โดยจะต้องทำการทดสอบความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากสองกรณี เพื่อนำไปทดสอบค่าเฉลี่ยในลำดับต่อไป

**ตารางที่ 4.16** แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม

ระยะห่างสถานี (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
5	1.26207	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
10	1.21347	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
15	1.44793	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
20	1.04136	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
25	1.33057	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.16 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะห่างสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

**ตารางที่ 4.17** แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม

ระยะห่างสถานี (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
5	1.18943	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
10	1.04762	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
15	1.04515	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
20	1.04932	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
25	1.00601	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะห่างสถานีที่ 5 10 15 20 และ 25 เมตร

#### 4.4.1.3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี แบ่งกรณีศึกษาไว้ 2 กรณี ได้แก่ การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม โดยจะต้องทำการทดสอบความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากสองกรณี เพื่อนำไปทดสอบค่าเฉลี่ยในลำดับต่อไป

**ตารางที่ 4.18** แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัด ทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.03444	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	1.69579	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.18 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีที่ระยะการสแกน ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะการสแกนที่ 30 และ 90 เมตร

#### 4.4.1.4 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบ่งกรณีศึกษาไว้ 3 กรณี ได้แก่ การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี และ การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี โดยจะต้องทำการทดสอบความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากสามกรณี ได้ผลการทดสอบทางสถิติดังตารางที่ 4. เพื่อนำไปทดสอบค่าเฉลี่ยในลำดับต่อไป

**ตารางที่ 4.19** แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานี	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.32484	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	2.66431	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.19 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะการสแกนที่ 30 เมตร ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.85430 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ การสแกนที่ระยะ 90 เมตร

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานี	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.11386	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	1.56771	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.20 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะการสแกนที่ 30 และ 90 เมตร

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานี	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.13866	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	1.45597	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.21 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะการสแกนที่ 30 และ 90 เมตร

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าเอฟที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานี	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความแปรปรวนของสอง ประชากร
30	1.26758	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
90	1.37899	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

จากตารางที่ 4.22 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.85430 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าความแปรปรวนของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ ระยะการสแกนที่ 30 และ 90 เมตร

#### 4.4.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยของสองประชากร

การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กำหนดให้สมมติฐานสำหรับการทดสอบ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ t test

กำหนดให้

$\mu_1$  และ  $\mu_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2

$S_1^2$  และ  $S_2^2$  คือ ค่าความแปรปรวนของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2

$n_1$  และ  $n_2$  คือ จำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2

- กรณีเมื่อค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม มีค่าเท่ากัน ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ )

$$\text{จะได้ } t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{Sp^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad \text{และ } Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ  $df = 58$  จะได้  $t_{0.05,58} = 1.6716$  และ

บริเวณที่ปฏิเสธ คือ  $t > t_{0.05,58}$

- กรณีเมื่อค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม มีค่าไม่เท่ากัน ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ )

$$\text{จะได้ } t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$\text{ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ } df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}{n_2-1}} \text{ จะได้บริเวณที่ปฏิเสธ}$$

แล้วแต่กรณี คือ  $t > t_{0.05,df}$

#### 4.4.2.1 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนของสองประชากรของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 และ 60 เมตร มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ส่วนระยะ 90 120 และ 150 มีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากับ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรได้ผลดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะต่างๆ

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าทีที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัด ทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยของสองประชากร
30	0.97912	$\mu_1 = \mu_2$
60	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
90	2.85887	$\mu_1 \neq \mu_2$
120	3.27081	$\mu_1 \neq \mu_2$
150	3.85820	$\mu_1 \neq \mu_2$

จากตารางที่ 4.23 แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ที่ระยะ 30 และ 60 เมตร เมื่อค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระยะการสแกน 90 120 และ 150 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.2.2.2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนของสองประชากรของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะ 30 และ 90 เมตร มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรได้ผลดังตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.25

**ตารางที่ 4.24** แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกต์ทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม

ระยะห่างสถานี (เมตร)	ค่าที่ที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกต์ทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร
5	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
10	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
15	0.84687	$\mu_1 = \mu_2$
20	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
25	0.84523	$\mu_1 = \mu_2$

จากตารางที่ 4.24 แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร โดยระยะห่างระหว่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร เมื่อค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อย



กว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 4.25** แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตรเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อม

ระยะห่างสถานี (เมตร)	ค่าทีที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร
5	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
10	0.55888	$\mu_1 = \mu_2$
15	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$
20	0.24558	$\mu_1 = \mu_2$
25	0.00000	$\mu_1 = \mu_2$

จากตารางที่ 4.25 แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร โดยระยะห่างระหว่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร เมื่อค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าทีที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4.2.3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนของสองประชากรของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีที่ระยะ 30 และ 90 เมตร มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรได้ผลดังตารางที่ 4.26

**ตารางที่ 4.26** แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีเมื่อรังวัดด้วยวิธีการยึดโยงค่าพิกัดทางตรงเปรียบเทียบกับทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าทีที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัด ทางตรงและทางอ้อม	ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยของสองประชากร
30	0.97614	$\mu_1 = \mu_2$
90	0.76914	$\mu_1 = \mu_2$

จากตารางที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณค่าทีของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าทีที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4.2.4 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนของสองประชากรของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินภาคพื้นดิน ที่สถานีเดียวและสองสถานีมีค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน ส่วนสองสถานีและสามสถานีมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรได้ผลดังตารางที่ 4.27 และตารางที่ 4.28

**ตารางที่ 4.27** แสดงผลการคำนวณค่าทีเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าทีที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานี	ผลการทดสอบ สมมติฐานค่าเฉลี่ยของ สองประชากร
30	0.64914	$\mu_1 = \mu_2$
90	2.12796	$\mu_1 \neq \mu_2$

จากตารางที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้อง เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานีเมื่อรังวัดยึดโยงค่า พิกัดทางตรงที่ระยะ 30 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ส่วนการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานีเมื่อรังวัดยึด โยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะ 90 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

**ตารางที่ 4.28** แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงจากการตั้งเครื่อง สแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าที่ที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานี	ผลการทดสอบ สมมติฐานค่าเฉลี่ยของ สองประชากร
30	0.89610	$\mu_1 = \mu_2$
90	1.46554	$\mu_1 \neq \mu_2$

จากตารางที่ 4.28 แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้อง เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานีเมื่อรังวัดยึดโยงค่า พิกัดทางตรงที่ระยะ 30 และ 90 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวนของสองประชากรของปัจจัยมี ผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ภาคพื้นดิน ที่สถานีเดียว สองสถานีและสามสถานีมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน เมื่อทำการ ทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรได้ผลดังตารางที่ 4.29 และตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.29 แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเปรียบเทียบกับสองสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าที่ที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานี	ผลการทดสอบ สมมติฐานค่าเฉลี่ยของ สองประชากร
30	1.11820	$\mu_1 = \mu_2$
90	0.80342	$\mu_1 = \mu_2$

จากตารางที่ 4.29 แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานีเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการคำนวณค่าที่เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเปรียบเทียบกับสามสถานี

ระยะห่าง การสแกน (เมตร)	ค่าที่ที่คำนวณได้ของตัวอย่างที่สุ่มจาก ประชากรของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานี	ผลการทดสอบ สมมติฐานค่าเฉลี่ยของ สองประชากร
30	0.90754	$\mu_1 = \mu_2$
90	0.66189	$\mu_1 = \mu_2$

จากตารางที่ 4.30 แสดงผลการคำนวณค่าที่ของปัจจัยมีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานีเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมที่ระยะ 30 และ 90 เมตร มีค่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  ค่าที่ที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.6716 แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสองประชากรดังกล่าวมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 5

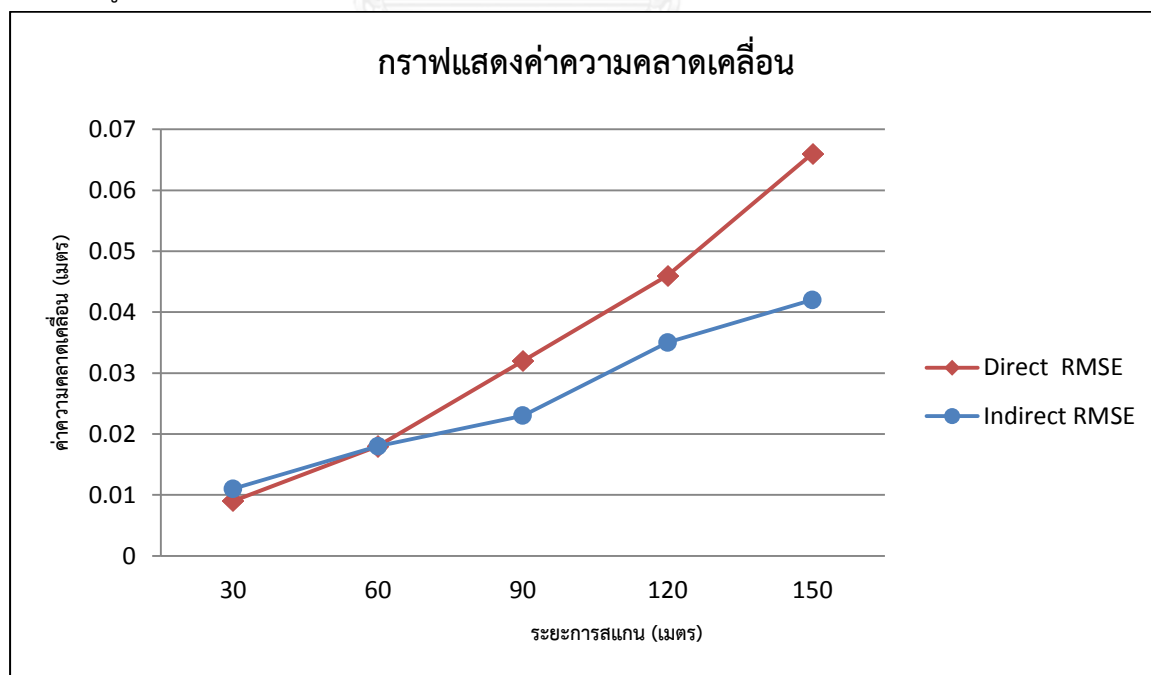
### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงานและการทดสอบทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้น วิจัยได้ศึกษาทั้งการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะการสแกนต่าง ๆ การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี อีกทั้งศึกษากระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถแบ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินโดยผู้วิจัยได้ทดลองสแกนสถานีเดียวที่ระยะ 30 60 90 120 และ 150 เมตร และทำการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถสรุปผลเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวระหว่างทำการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม

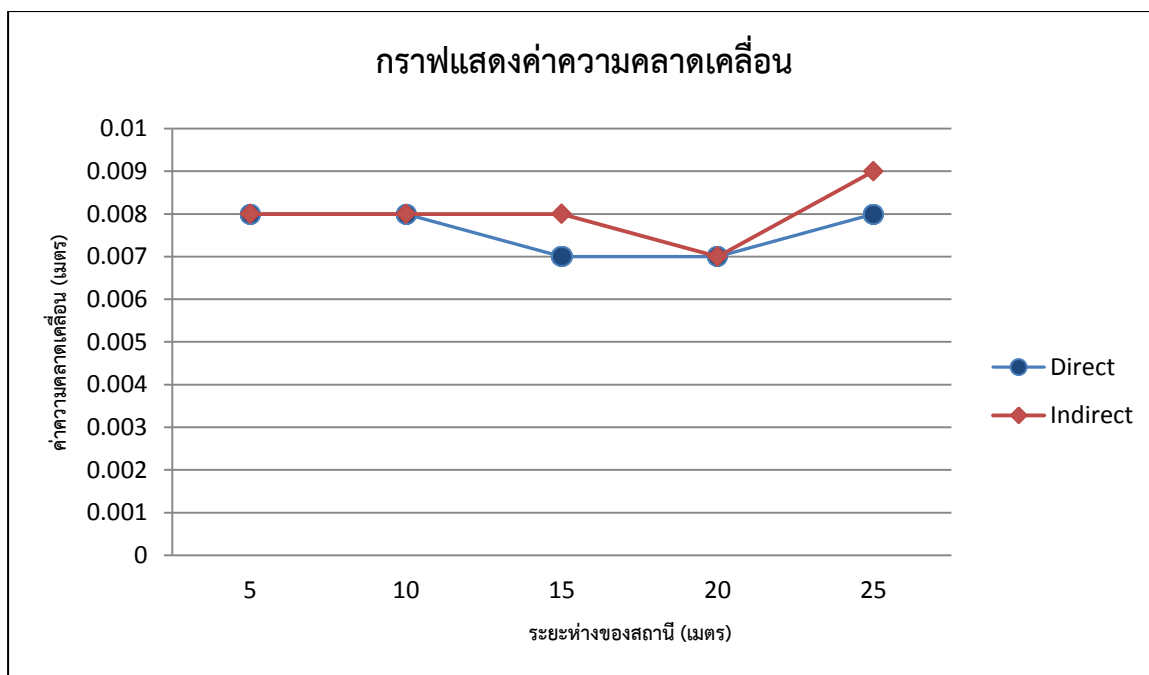
จากรูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างกระบวนการรังวัด ยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวที่ระยะ การสแกนต่าง ๆ โดยการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจะมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการ รังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะ 90 เมตร เป็นต้นไป และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน ค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.23 สามารถสรุปได้ว่า ที่ระยะการสแกน 90 120 และ 150 การรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมมีค่าความคลาดเคลื่อนของพอยท์คลาวด์ต่ำกว่าการรังวัด ยึดโยงค่าพิกัดทางตรง ส่วนที่ระยะการสแกน 30 และ 60 เมตร การรังวัดยึดโยงค่าพิกัด ทางอ้อมมีค่าความคลาดเคลื่อนของพอยท์คลาวด์เท่ากับการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

5.1.2 ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกน เลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี

การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี โดยผู้วิจัยกำหนดให้มีการสแกน 2 ระยะ ได้แก่ 30 และ 90 เมตร แต่ระยะตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินห่าง 5 10 15 20 และ 25 เมตร และทำการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมทุกกรณี โดยสามารถสรุป ผลเปรียบเทียบกันดังนี้

5.1.2.1 การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม ตามลำดับของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะห่างของสถานี ต่างๆ อยู่ในระดับ 7 ถึง 8 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความ คลาดเคลื่อนทั้งกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมดังรูปที่ 5.2

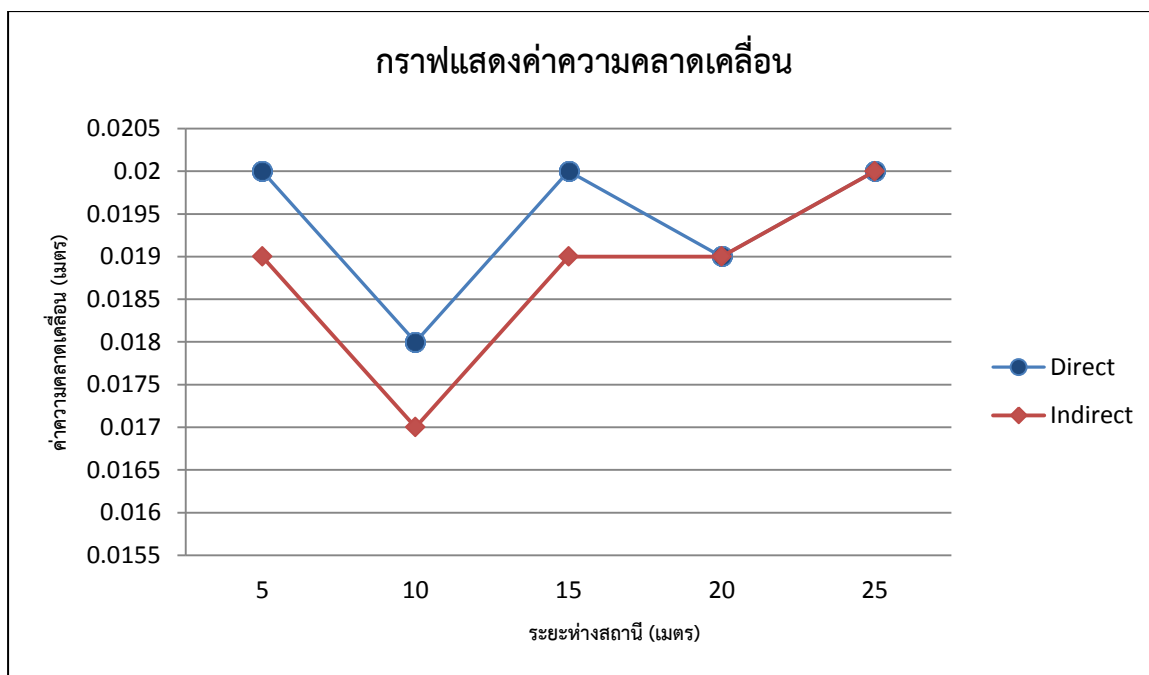


**รูปที่ 5.2** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมที่ระยะสแกน 30 เมตร

จากรูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเดียวที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร โดยการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะห่างสถานี 15 และ 20 เมตร และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.23 สามารถสรุปได้ว่า ที่ระยะห่างสถานีทุกระยะมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากัน

#### 5.1.2.2 การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมตามลำดับ ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะห่างของสถานีต่างๆ อยู่ในระดับ 17 ถึง 20 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทั้งกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมดังรูปที่



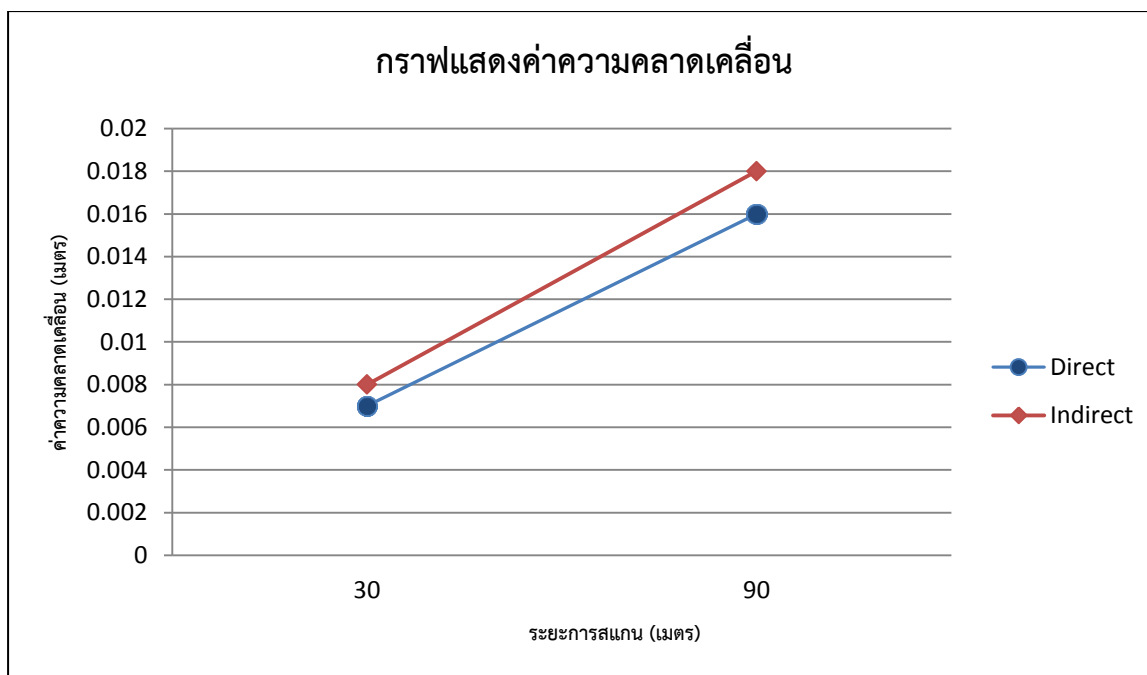
**รูปที่ 5.3** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม ที่ระยะสแกน 90 เมตร

จากรูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีเดียวที่ระยะห่างสถานี 5 10 15 20 และ 25 เมตร โดยการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจะมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะห่างสถานี 5 10 และ 15 เมตร และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.25 สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะห่างสถานีทุกระยะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน

#### 5.1.3 ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เนื่องจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี

ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อมตามลำดับของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี ที่ระยะห่างของสถานี 30 และ 90 เมตร ทั้งนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 5.4





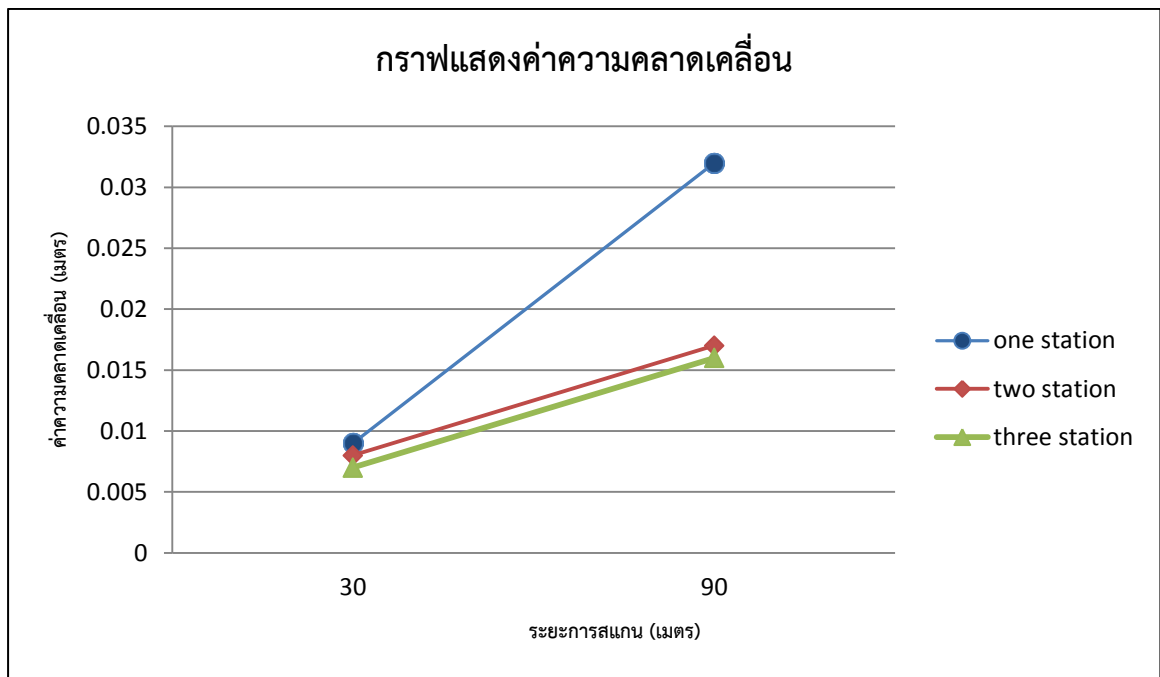
**รูปที่ 5.4** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม

จากรูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงและทางอ้อม เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานีเดียวที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร โดยการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงทั้งระยะ 30 และ 90 เมตร และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.26 สามารถสรุปได้ว่าที่ระยะการสแกน 30 และ 90 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน

5.1.4 ผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อกำหนดกระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี

#### 5.1.4.1 เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

จากผลการดำเนินงานในบทที่ 4 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี ดังรูปที่ 5.5

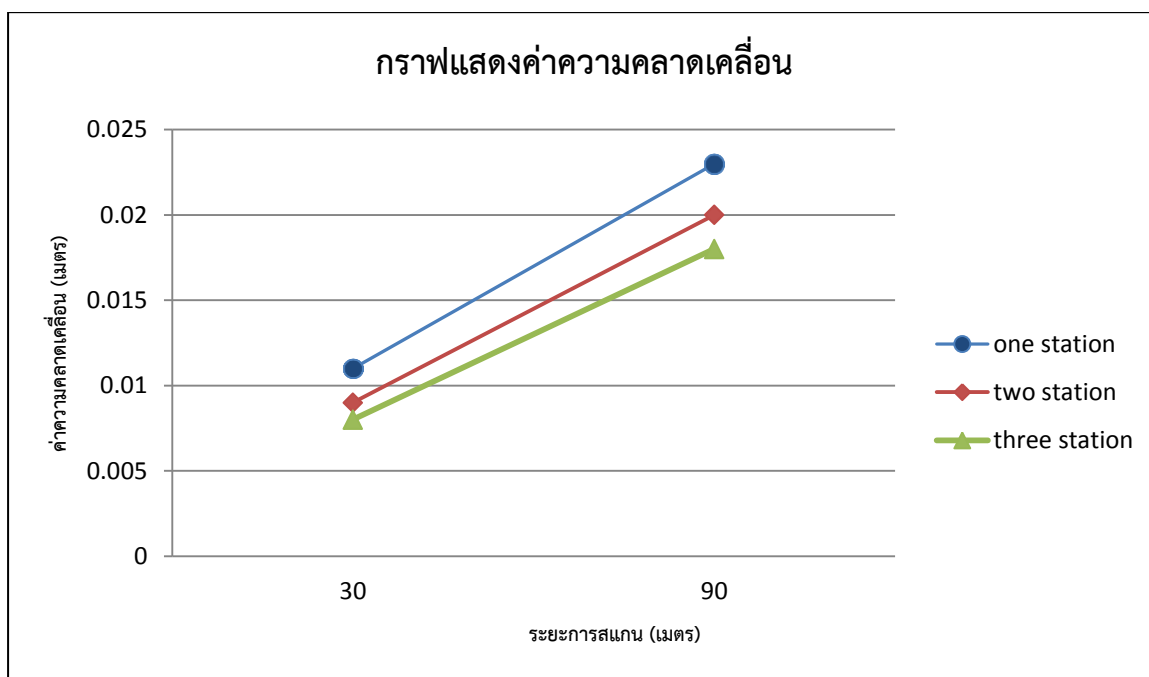


**รูปที่ 5.5** กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อรังวัดค่าพิกัดทางตรงระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี

จากรูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน สถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง ที่ระยะการสแกน 30 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน สถานีเดียวสูงกว่าสองสถานี และสามสถานี ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.27 และ 4.28 สามารถสรุปได้ว่าการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานีที่ระยะการสแกน 30 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงที่ระยะการสแกน 90 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวสูงกว่าสองสถานีและสามสถานี ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.27 และ 4.28 สามารถสรุปได้ว่าการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวและสองสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน ส่วนการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีและสามสถานีที่ระยะการสแกน 90 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน

#### 5.1.4.2 เมื่อรั้งวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

จากผลการดำเนินงานในบทที่ 4 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรั้งวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE จากพอยท์คลาวด์เมื่อรั้งวัดค่าพิกัดทางอ้อมระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี

จากรูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี เมื่อรั้งวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม ที่ระยะการสแกน 30 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวสูงกว่าสองสถานี และสามสถานี ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.29 และ 4.30 สามารถสรุปได้ว่าการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่ระยะ 90 เมตร ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวสูงกว่าสองสถานี และสามสถานี ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร ในตาราง 4.29 และ 4.30 สามารถสรุปได้ว่าการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว สองสถานี และสามสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกัน

## 5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงานเพื่อศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และการทำการทดสอบสมมติทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนที่สุ่มจากข้อมูลพอยท์คลาวด์ สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบและต้องคำนึงถึงการทำงานด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินดังนี้

1. ระยะห่างของการสแกนเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนการทำงานด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยระยะห่างของเครื่องสแกนเลเซอร์ที่ไกลขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อความหนาแน่นของข้อมูลพอยท์คลาวด์ ทั้งนี้สามารถประเมินความถูกต้องของข้อมูลพอยท์คลาวด์ได้จากระยะเวลาสแกนและการตั้งค่าความละเอียดของพอยท์คลาวด์จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินรุ่นดังกล่าว

2. กระบวนการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดเป็นปัจจัยลำดับที่สองที่แสดงให้เห็นว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อมทำให้ข้อมูลพอยท์คลาวด์มีความถูกต้องสูงกว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสแกนที่ระยะไกลกว่า 90 เมตร ขึ้นไป ดังนั้นกระบวนการรังวัดเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่จะต้องกำหนดหลังจากการกำหนดระยะห่างของการสแกน

3. จำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นที่ทราบว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรงมีความสะดวก และใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม แต่หากต้องการให้ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่มีความถูกต้องอยู่ในระดับเดียวกันกับการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม โดยเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากการเพิ่มจำนวนสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียวเป็นสองหรือสามสถานีได้

ทั้งนี้ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลจากค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon GLS-2000

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจากบริษัท ทีโอพีคอน อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด เพียงบริษัทเดียว หากสามารถทำการทดลองกับเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินรุ่นอื่น ผู้วิจัยหวังว่าข้อสรุปสำหรับการประเมินค่าความถูกต้องของปัจจัยทางเรขาคณิตของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินได้ครอบคลุมและสอดคล้องกับข้อมูลจำเพาะของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินรุ่นอื่น ๆ ได้

2) การออกแบบงานสนามสำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องเนื่องจากระยะห่างระหว่างวัตถุกับสถานีตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงการปฏิบัติงาน

โดยทั่วไปที่นิยมใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งตามข้อมูลจำเพาะของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้นได้ระบุไว้ว่าสามารถสแกนได้ที่ระยะสูงสุด 300 เมตร ดังนั้นหากสามารถออกแบบพื้นที่ทดสอบให้รองรับระยะการสแกนที่ระยะ 300 เมตร ได้จะสามารถประเมินขอบเขตงานอื่นๆได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้เพิ่มเติมมาประมาณค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับระยะที่ไม่ได้ทำการทดสอบ

3) ด้านการประมวลผลหรือการจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมลิขสิทธิ์ฟรี ดังนั้นการเลือกใช้โปรแกรมอื่น ๆ เพื่อจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์อาจจะสามารถจัดการข้อมูลพอยท์คลาวด์ในวิธีการโยนยัดค่าพิกัดทางอ้อมได้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นเพียงความคาดหวังของผู้วิจัย



## รายการอ้างอิง

Alkan, R. M. and G. Karsidag (2012). "Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements." FIG Working Week 2012.

Boehler, W. and A. Marbs (2004). Investigating Laser Scanner Accuracy. Institute for Spatial Information and Surveying Technology, University of Applied Sciences, Mainz.

Cosarca, C., et al. (2009). "Analysis of error sources in Terrestrial Laser Scanning." Journal of Geodesy and Cadastre.

Geoff, J. (2005). Registration and Geo-referencing Professional Surveyor Magazine: 30-37.

Gordon, S., et al. (2003). "Structural Deformation Measurement Using Terrestrial Laser Scanners." FIG Symposium on Deformation Measurements.

Reshetyuk, Y. (2009). Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Department of Transport and Economics. Universitetservice US AB, Stockholm, Sweden, 2009, Royal Institute of Technology (KTH).

Schulz, T. and H. Ingensand (2004). "Terrestrial Laser Scanning – Investigations and Applications for High Precision Scanning." FIG Working Week 2004.

Sotoodeh, S. (2006). "Outlier Detection in Laser Scanner Point Clouds." IAPRS Volume XXXVI, Part 5.

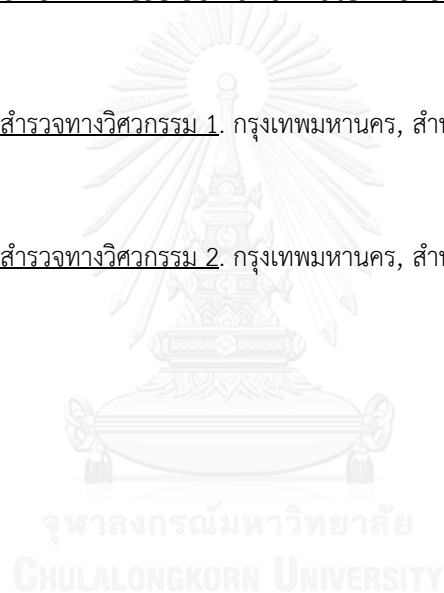
Soudarissanane, S., et al. (2009). "Incidence Angle Influence on The Quality of Terrestrial Laser Scanning Points." IAPRS, Vol. XXXVIII.

Soudarissanane, S., et al. (2011). "Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66(4): 389-399.

Wu, C.-T., et al. (2013). Improvement of LiDAR Data Accuracy Using 12 Parameter Affine Transformation. Journal of Chinese Soil and Water Conservation: 293-301.

วิชัย เยี่ยงวีรชน (2555). การสำรวจทางวิศวกรรม 1. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย เยี่ยงวีรชน (2559). การสำรวจทางวิศวกรรม 2. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.







ภาคผนวก ก อุปกรณ์ (Equipment) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1. เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ของ Topcon รุ่น GLS-2000



รูปที่ 1 เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ของ Topcon รุ่น GLS-2000

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ท็อปคอน อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด และให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือเบื้องต้น

SPECIFICATIONS				
GLS-2000				
Type	Short	Middle	Long	
<b>Distance<sup>1)</sup></b>				
<b>Detail (90% reflectivity)</b>	<b>100m</b>	<b>100m</b>	<b>100m</b>	
<b>High Speed (90% reflectivity)</b>	<b>130m</b>	<b>210m</b>	<b>210m</b>	
<b>Low Power (90% reflectivity)</b>	<b>130m</b>	<b>210m</b>	<b>210m</b>	
<b>Standard (90% reflectivity)</b>	<b>-</b>	<b>350m</b>	<b>500m</b>	
<b>Close Scan (9% reflectivity)</b>	<b>40m</b>	<b>40m</b>	<b>40m</b>	
<b>Scanning Part</b>				
Scan mode <sup>2)</sup>	Detail	High Speed	Low Power	Standard
Scan data rate (Maximum points per second)	120,000	120,000	48,000	60,000
Laser Class	Class 3R		Class 1	Class 3R
Laser	1064nm			
Scanning Density (Resolving Power)				
Spot Size(FWHM)	$\phi \leq 4\text{mm}$ 1 to 20m	$\phi \leq 11\text{mm}$ 1 to 150m		
Point Increment	Minimum 3.1mm (At 10m)			
Maximum Point Number	V:15,202 Pt/Line (270°) H:20,268 Pt/Line (360°)			
Field of View	V:270°/ H:360°			
Angle Accuracy	H: 6" / V: 6"			
Distance Accuracy	3.5mm ( $\sigma$ ) At 1 to 90m	3.5 mm ( $\sigma$ ) At 1 to 110m	4.0mm ( $\sigma$ ) At 1 to 110m	3.5mm ( $\sigma$ ) At 1 to 150m
Surface Accuracy	2.0mm ( $\sigma$ ) At 1 to 110m		At 1 to 150m	
Height Measurement				
Measuring Range	0.3 to 2.0m			
Measuring Accuracy	3.0mm (Req. Special Target)			
<b>Camera Part</b>				
Field Angle	Wide : Diagonal 170° Tele : 8.9°(V) x 11.9°(H)			
Number of pixels	Both Wide & Tele. 5megapixels			
<b>Tilt Sensor</b>				
Type	Liquid 2-axis tilt-sensor			
Compensation Range	$\pm 6'$			
<b>Display Unit</b>				
Type	TFT-LCD 3.5 VGA with touch-panel			
<b>Others</b>				
Laser Plummet	Spot Size $\phi 1\text{mm}$ (1m) / $\phi 4\text{mm}$ (1.5m)			
Imaging Plummet	Magnification range 1m			
<b>Interface</b>				
Card Slot	SD card (SDHC Class 6 or more)			
<b>Power Supply</b>				
Internal Battery	BDC70			
Capacity	5240mAh / 1pce x 4pcs			
Nominal Voltage	7.4V / 1pce x pcs			
Working Duration	2.5 hours (4pcs continuous scanning)			
<b>Appearance</b>				
Dimension	228(D) $\times$ 293 (W) $\times$ 412 (H) mm (With handle & Base)			
Inst height	226mm (From top of base to center of Miller)			
Weight	10kg (Include Base and Battery)			
<b>Condition</b>				
Operating Temperature	-5 to +45°C			
Storage Temperature	-20 to +60°C			
Water & Dust Resistance	IP54 (JIS C0920, IEC 60529)			

\*1: It will be different depends on the condition. \*2: Specification of Close Scan mode is listed inside the catalog.

รูปที่ 2 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน Topcon รุ่น GLS-2000

(<http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/GLS->

[2000\\_E.html](http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/GLS-2000_E.html))

## 2. โปรแกรม ScanMaster office Software ของ Topcon



รูปที่ 3 โปรแกรม ScanMaster office Software

โปรแกรม ScanMaster office Software ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ท็อปคอน อินสตรูमेंท์ (ไทยแลนด์) จำกัด และให้คำปรึกษาในการใช้ซอฟต์แวร์เบื้องต้น

## 3. กล้องประมวลผลรวม (Total Station) ของ Topcon รุ่น DS-101AC



รูปที่ 4 กล้องประมวลผลรวม (Total Station) ของ Topcon รุ่น DS-101AC

กล้องประมวลผลรวมได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ท็อปคอน อินสตรูमेंท์ (ไทยแลนด์) จำกัด และให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือเบื้องต้น

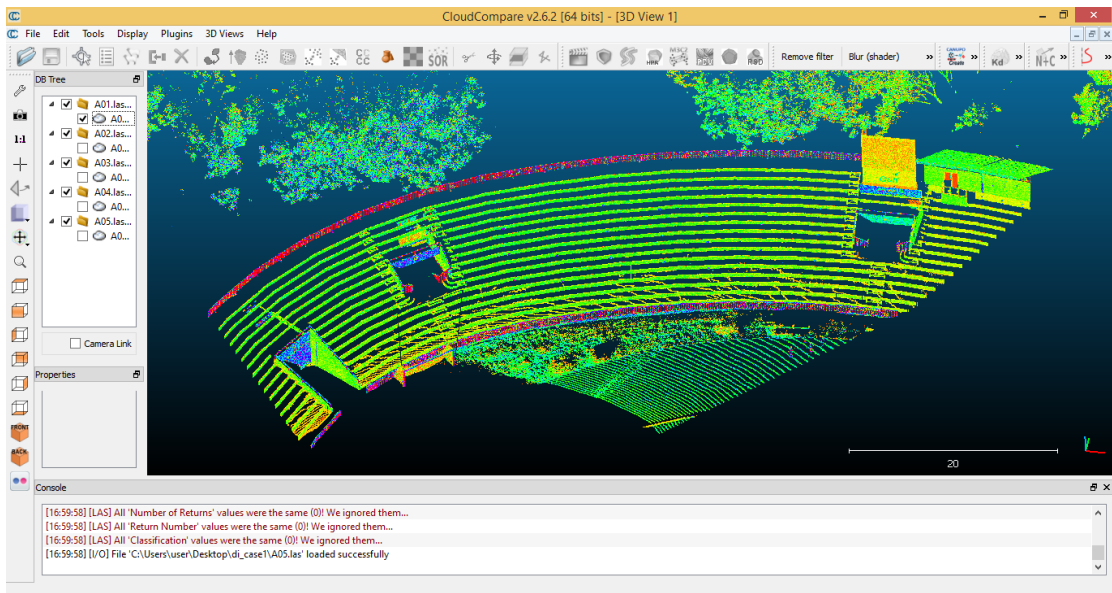
Model	DS-101AC	DS-102AC	DS-103AC	DS-105AC
<b>Telescope</b>				
Magnification / Resolving power	30x / 2.5"			
Length: 168mm (6.6in.), Objective aperture: 45mm (1.8in.) (50mm (2.0in.) for EDM), Image: Erect, Field of view: 1°30' (26m/1,000m), Minimum focus: 1.3m (4.3ft.), Reticle illumination: 5 brightness levels				
<b>Angle measurement</b>				
Display resolutions	0.5" / 1" (0.0001 / 0.0002gon, 0.002 / 0.005mil)		1" / 5" (0.0002 / 0.001gon, 0.005 / 0.02mil)	
Accuracy (ISO 17123-3:2001)	1"	2"	3"	5"
Advanced angle encoder technology	Provided			
Dual-axis compensator / Collimation compensation	Dual-axis liquid tilt sensor, working range: ±6' / Collimation compensation available			
<b>Distance measurement</b>				
Laser output <sup>1</sup>	Reflectorless mode: Class 3R / Prism/sheet mode: Class 1			
Measuring range (under average conditions <sup>2</sup> )	Reflectorless <sup>3</sup>	0.3 to 800m (1 to 2,620ft) / Under good conditions <sup>4</sup> : to 1,000m (3,280ft)		
	Reflective sheet <sup>5</sup>	RS90N-K: 1.3 to 500m (4.3 to 1,640ft), RS50N-K: 1.3 to 300m (4.3 to 980ft), RS10N-K: 1.3 to 100m (4.3 to 320ft)		
	360°prism <sup>6,7</sup>	1.3 to 1,000m (4.3 to 3,280ft) / Under good conditions <sup>4</sup>		
	Mini prism <sup>8</sup>	1.3 to 500m (4.3 to 1,640ft)		
	One prism <sup>9</sup>	1.3 to 5,000m (4.3 to 16,400ft) / Under good conditions <sup>4</sup> : 6,000m (16,880ft)		
	Three prisms <sup>10</sup>	to 8,000m (26,240ft) / Under good conditions <sup>4</sup> : to 10,000m (32,800ft)		
Display resolution	Fine: 0.0001 / 0.001m (0.001 / 0.01ft., 1/16 / 1/8in.) / Rapid: 0.001m / 0.01ft. / 1/8in. Tracking: 0.01m / 0.1ft. / 1/2in.			
Accuracy <sup>11</sup> (ISO 17123-4:2001) (D=measuring distance in mm)	Reflectorless <sup>3</sup>	(2 + 2ppm x D) mm <sup>12</sup>		
	Reflective sheet <sup>5</sup>	(2 + 2ppm x D) mm		
	Prism	(1.5 + 2ppm x D) mm		
Measuring time <sup>11</sup>	Fine: 0.9s (initial 1.5s), Rapid: 0.6s (initial 1.3s), Tracking: 0.3s (initial 1.3s)			
<b>Auto-Collimating, Auto-Tracking<sup>13</sup> and Motor</b>				
Working range <sup>4</sup>	360°prism <sup>6,7,13</sup>	2 to 600m (6.6 to 1,960ft)		
	One prism <sup>8</sup>	1.3 to 1,000m (4.3 to 3,280ft)		
	Reflective sheet <sup>5,14</sup>	5 to 50m (16 to 160ft)		
	Mini prisms <sup>9</sup>	1.3 to 500m (4.3 to 1,640ft)		
Rotation speed / Auto-Tracking speed <sup>15</sup>	70°/s / 15°/s			
Motor type	DC Servo motor			
<b>OS, Interface and Data management</b>				
Operating system / Application	Microsoft Windows CE 6.0 / MACNET FIELD			
Display / Keyboard	3.5inch, Semi-transmissive TFT QVGA color LCD with LED backlight, Touch screen, Automatic brightness control / 26 keys with backlight			
Control panel location <sup>16</sup>	On both faces (Face 2 is only touch screen display)			
Trigger key	On right instrument support			
Data storage	Internal memory	500MB internal memory		
	Plug-in memory device	USB flash memory (max. 8GB)		
Interface	Serial RS-232C, USB2.0 (Type A / miniB)			
Bluetooth modem (option) <sup>17</sup>	Bluetooth Class 1, Ver.2.1+EDR, Operating range: up to 300m (980ft.) <sup>17</sup>			
<b>General</b>				
Laser pointer <sup>18</sup>	Coaxial red laser using EDM beam			
Guide light <sup>19</sup>	Green LED (524nm) and Red LED (626nm), Operating range: 1.3 to 150m (4.3 to 490ft.)			
Levels	Graphic / Circular level	6' (Inner Circle) / 10' / 2mm		
Optical plummet	Magnification: 3x, Minimum focus: 0.3m (11.8in.) from tribrach bottom			
Laser plummet (option)	Red laser diode (635nm±10nm), Beam accuracy: ≤1.0mm@1.3m, Class 2 laser product			
Dust and water protection / Operating temperature	IP65 (IEC 60529:2001) / -20 to +50°C (-4 to +122°F)			
Size with handle	W207 (W) X 190 (D) X 372 (H) mm (W8.1 x D7.5 x H14.6in.)			
Weight with battery & tribrach	Approx. 6.1kg (13.4lb.)			
<b>Power supply</b>				
Battery	BDC70 detachable battery	Li-ion rechargeable battery		
Operating time (20°C)	BDC70	Approx.5hours (Fine distance measurement (single) using Auto-Collimating, repeated every 30 seconds)		
	External battery (option)	BT-73Q: approx. 14.5hours (Fine distance measurement (single) using Auto-Collimating, repeated every 30 seconds)		

<sup>1</sup> IEC60825-1:Ed.2.0:2007 / FDA CFR81.21 CFR Part 1040.10 and 11 <sup>2</sup> Average conditions: Slight haze, visibility about 20km (12 miles), sunny period, weak scintillation <sup>3</sup> With Kodak Gray Card/White Side (99% reflective). When brightness on measured surface is 30,000 lx or less. Reflectorless range/accuracy may vary according to measuring objects, observation situations and environmental conditions. <sup>4</sup> When the measuring beam's incidence angle is within 90° in relation to the reflective sheet target. <sup>5</sup> Good conditions: No haze, visibility about 20km (12 miles), overcast, no scintillation. <sup>6</sup> AOP (5 prism) <sup>7</sup> Figures when both the elevation and depression angles of the laser beam are within 15° and the instrument is using the 360° prism. <sup>8</sup> 5 prism. <sup>9</sup> 2 prism. <sup>10</sup> Measuring range 0.3 to 200m. <sup>11</sup> Typical, under good conditions. Reflectorless measurement time may vary according to measuring objects, observation situations and environmental conditions. <sup>12</sup> Auto-Tracking function can be added by Upgrade Kit. <sup>13</sup> Figures when the Auto Pointing / Auto Tracking beam strikes within elevation and depression angle 15° and the instrument is using the 360° prism. <sup>14</sup> When using a reflective sheet for Auto Pointing, the size of sheet (10 to 50 mm) must be selected to correspond to the distance being measured. Use smaller reflective sheets for shorter distances. Figures when the Auto Pointing / Auto Tracking beam strikes within 15° of the reflective sheet target. <sup>15</sup> Control panel location may vary depending on region or model. <sup>16</sup> Usage approval of Bluetooth wireless technology varies according to country. Please consult your local office or representative in advance. <sup>17</sup> Non-stacks, fan vehicles or sources of radio emissions/interference to the near vicinity of the instrument, no rain. <sup>18</sup> The laser pointer and the guide light do not work simultaneously.

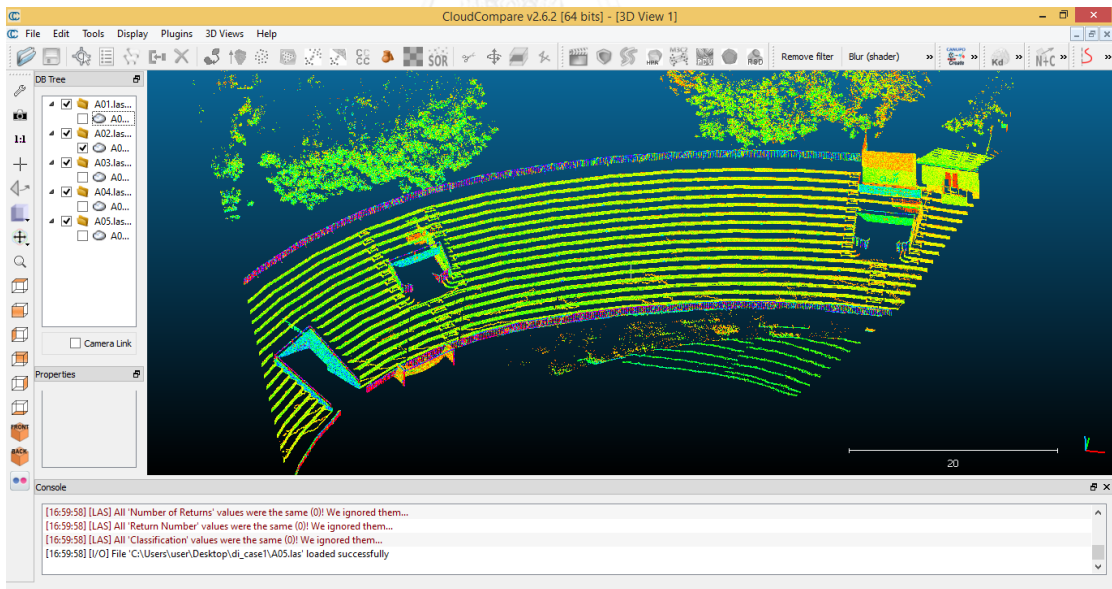
รูปที่ 5 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของกล้องประมวลผลรวม Topcon รุ่น DS-101AC

([http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/ts00/DS\\_E.html](http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/ts00/DS_E.html))

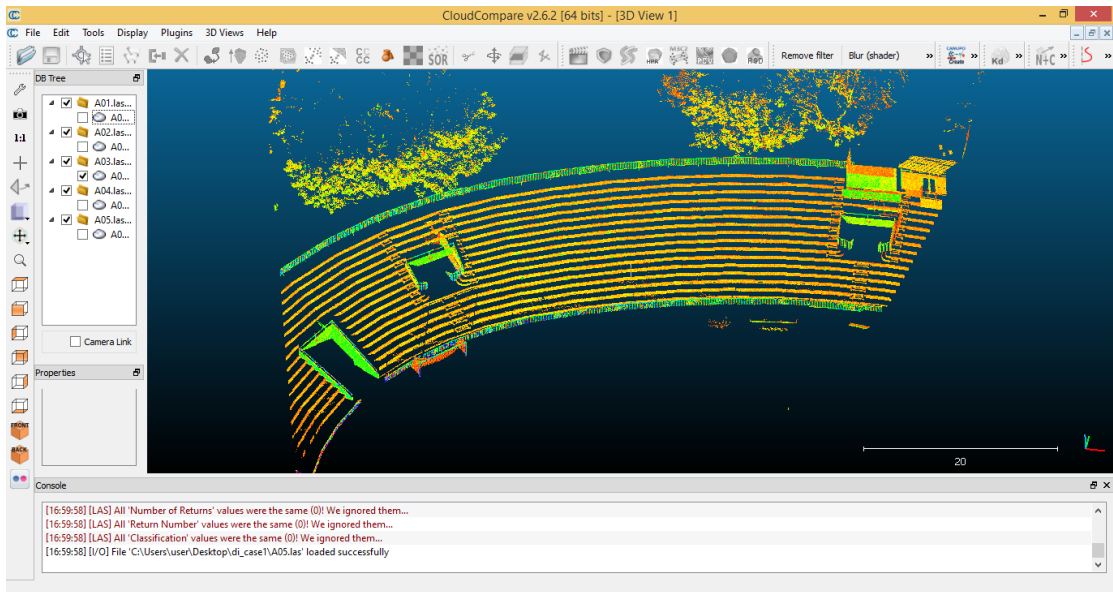
## ภาคผนวก ข ข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน



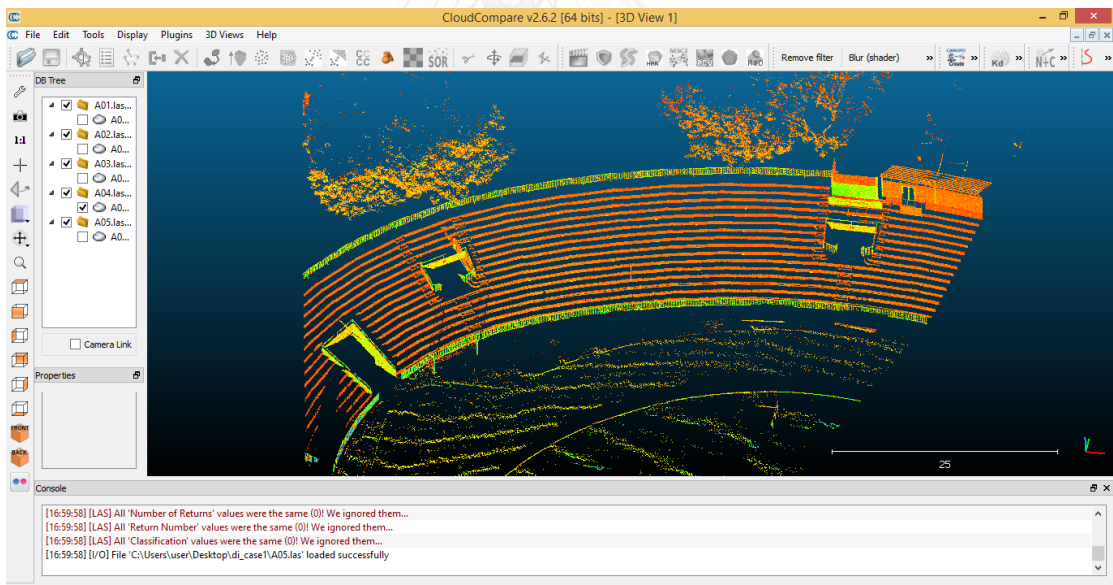
รูปที่ 1 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างการสแกน



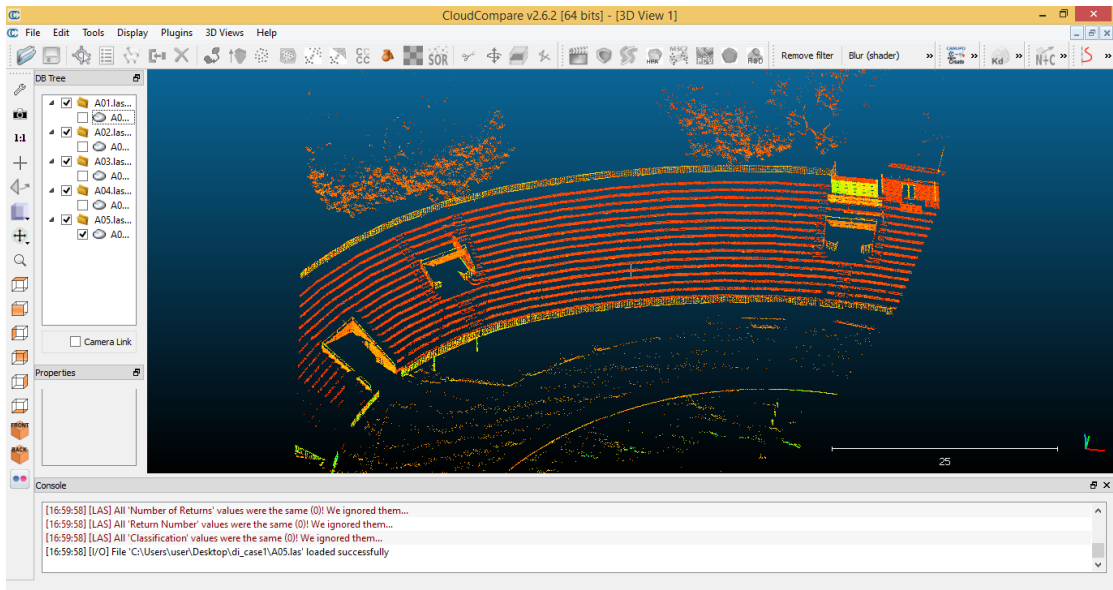
รูปที่ 2 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 60 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างการสแกน



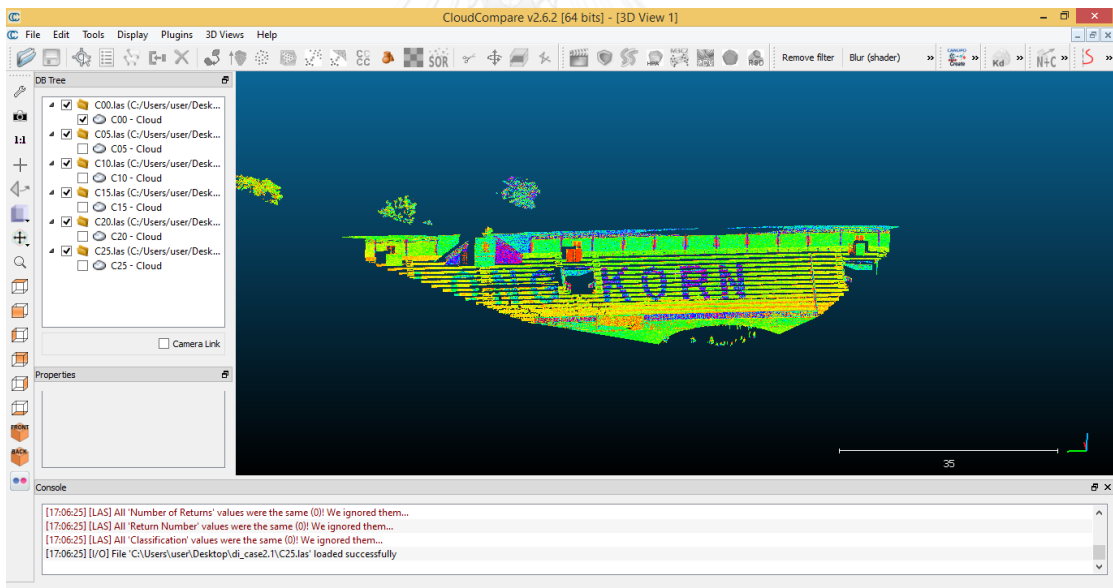
รูปที่ 3 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 90 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างการสแกน



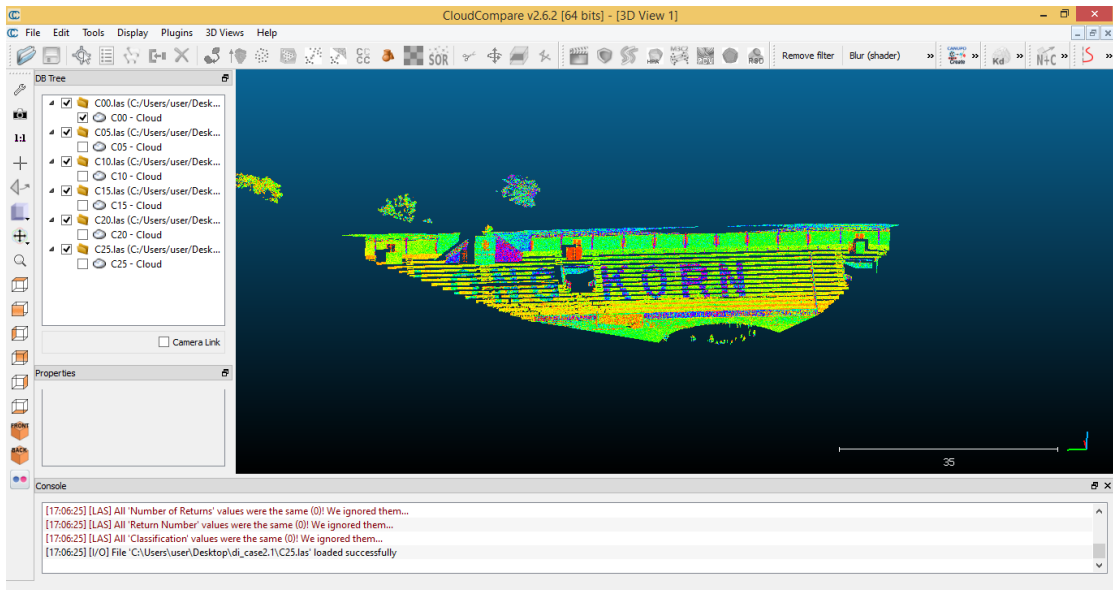
รูปที่ 4 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 120 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างการสแกน



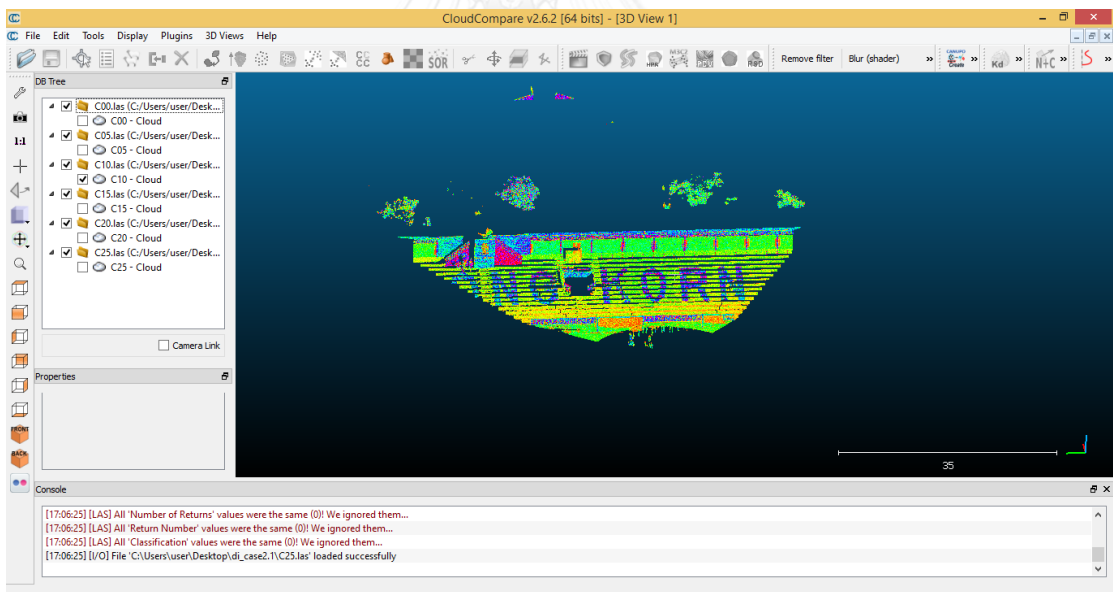
รูปที่ 5 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 150 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างการสแกน



รูปที่ 6 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 1

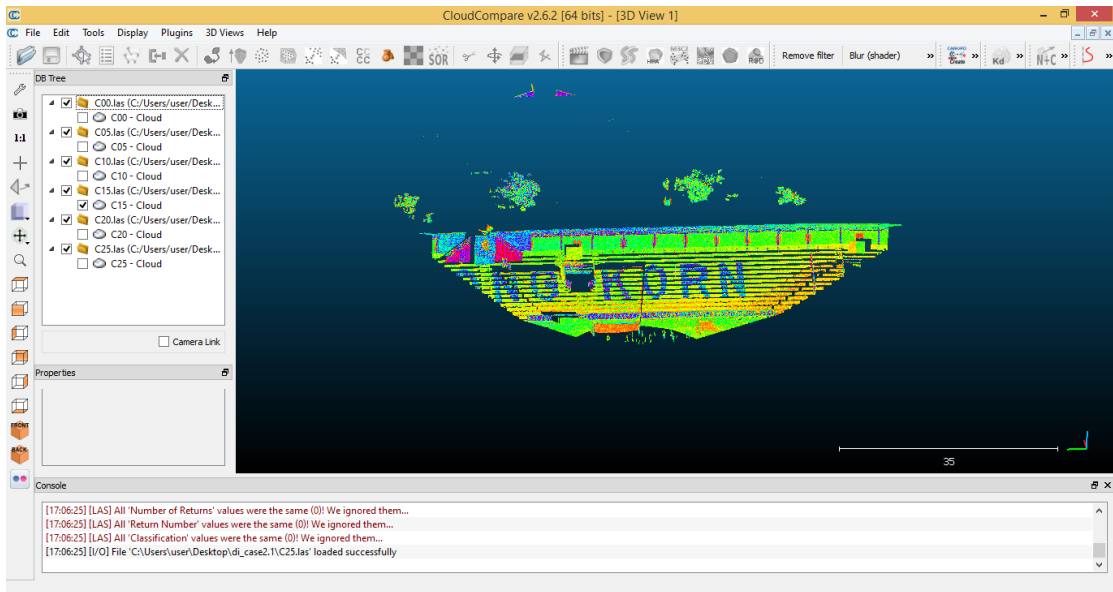


รูปที่ 7 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 2

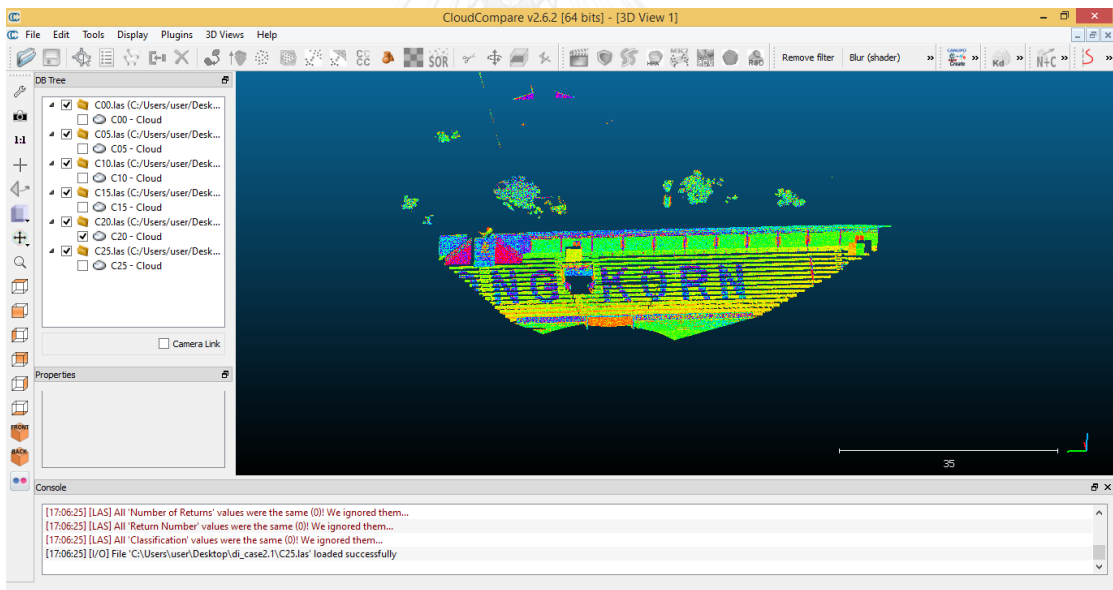


รูปที่ 8 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 3

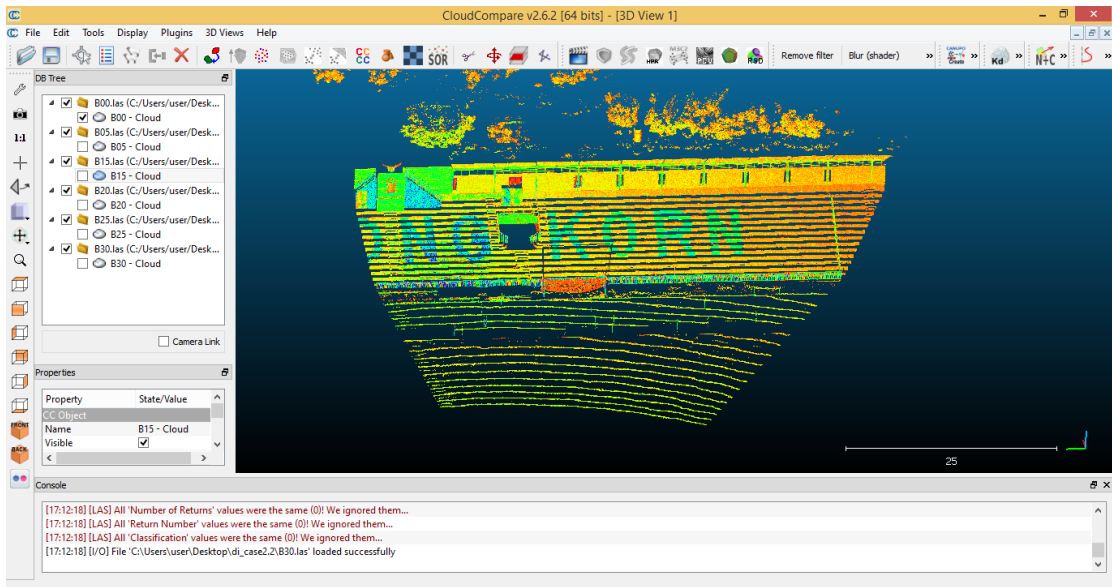




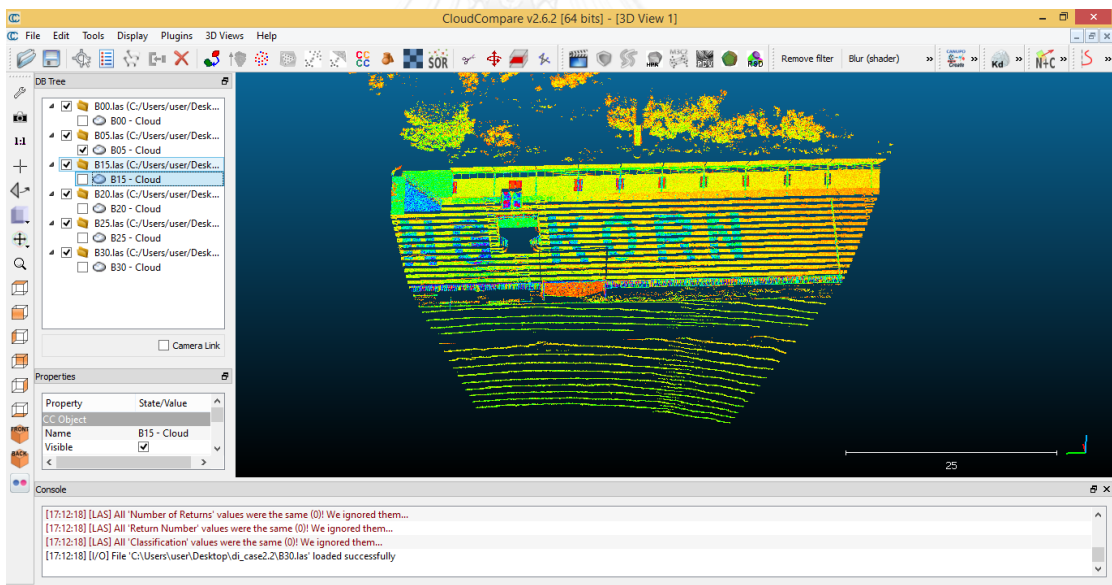
รูปที่ 9 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 4



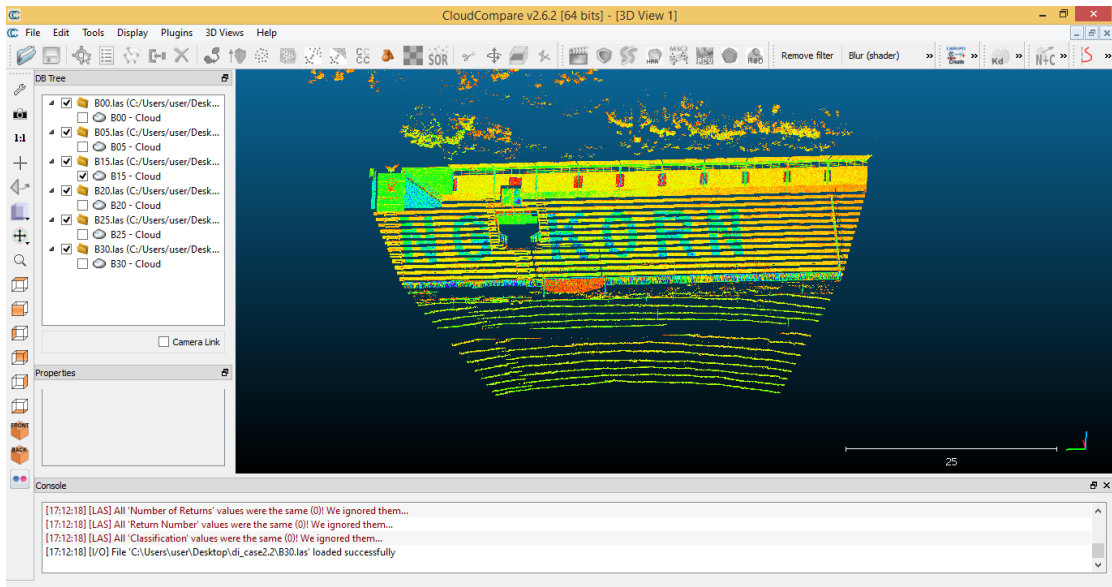
รูปที่ 10 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 30 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 5



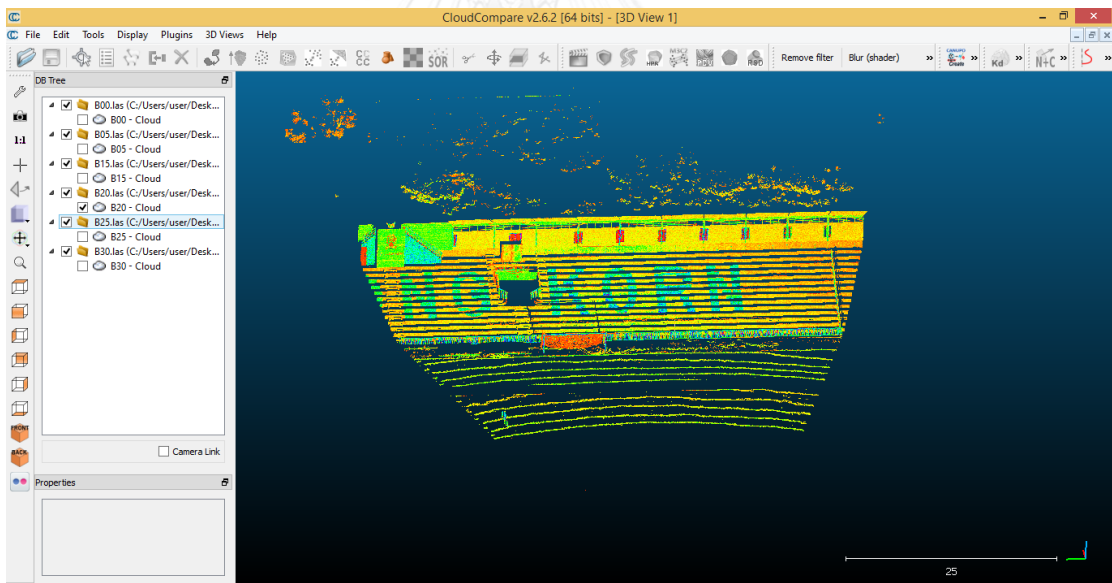
รูปที่ 11 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 90 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 12 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 90 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 13 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 90 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 14 ข้อมูลพอยท์คลาวด์เมื่อตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะ 90 เมตร สำหรับการทดสอบระยะห่างสถานีที่ตำแหน่งที่ 4

ภาคผนวก ค ตารางผลการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว เมื่อรังวัดยึด

โยงค่าพิกัดทางตรง

Scanning Distance (meter)	30				60				90			
	ΔE	ΔN	ΔH	sum	ΔE	ΔN	ΔH	sum	ΔE	ΔN	ΔH	sum
1	0.005	0.007	0.006	0.010	0.003	0.003	0.010	0.010	0.007	0.005	0.047	0.048
2	0.001	0.006	0.011	0.012	0.008	0.008	0.004	0.001	0.001	0.012	0.046	0.048
3	0.003	0.004	0.001	0.005	0.004	0.004	0.012	0.008	0.003	0.004	0.012	0.013
4	0.000	0.000	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.025	0.009	0.014	0.008	0.019
5	0.004	0.001	0.005	0.006	0.003	0.003	0.009	0.013	0.000	0.004	0.017	0.018
6	0.004	0.004	0.005	0.007	0.004	0.004	0.010	0.015	0.003	0.013	0.000	0.013
7	0.004	0.000	0.008	0.009	0.002	0.002	0.013	0.013	0.003	0.010	0.003	0.011
8	0.002	0.003	0.000	0.004	0.004	0.004	0.008	0.009	0.001	0.007	0.020	0.021
9	0.008	0.003	0.004	0.009	0.010	0.010	0.002	0.004	0.000	0.009	0.043	0.044
10	0.007	0.003	0.002	0.008	0.013	0.013	0.002	0.033	0.011	0.001	0.054	0.055
11	0.003	0.003	0.007	0.008	0.003	0.003	0.003	0.030	0.010	0.005	0.014	0.018
12	0.001	0.002	0.008	0.008	0.009	0.009	0.004	0.004	0.002	0.002	0.029	0.029
13	0.002	0.002	0.006	0.006	0.001	0.001	0.004	0.008	0.015	0.002	0.021	0.026
14	0.003	0.002	0.003	0.005	0.003	0.003	0.000	0.000	0.005	0.009	0.000	0.011
15	0.003	0.000	0.008	0.009	0.006	0.006	0.002	0.009	0.002	0.009	0.007	0.012
16	0.004	0.000	0.010	0.010	0.005	0.005	0.001	0.004	0.012	0.003	0.008	0.014
17	0.001	0.000	0.000	0.001	0.007	0.007	0.003	0.019	0.010	0.009	0.008	0.015
18	0.007	0.000	0.012	0.014	0.003	0.003	0.003	0.010	0.006	0.006	0.038	0.039
19	0.003	0.001	0.007	0.008	0.010	0.010	0.006	0.009	0.005	0.000	0.020	0.021
20	0.001	0.010	0.011	0.015	0.002	0.002	0.008	0.010	0.000	0.003	0.041	0.041
21	0.001	0.002	0.000	0.002	0.008	0.008	0.001	0.007	0.007	0.006	0.006	0.011
22	0.001	0.004	0.005	0.007	0.012	0.012	0.001	0.003	0.011	0.000	0.027	0.029
23	0.002	0.002	0.004	0.005	0.001	0.001	0.005	0.013	0.006	0.003	0.049	0.049
24	0.002	0.008	0.004	0.009	0.014	0.014	0.006	0.012	0.013	0.001	0.044	0.046
25	0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	0.002	0.001	0.033	0.008	0.002	0.056	0.056
26	0.008	0.001	0.003	0.009	0.017	0.017	0.002	0.006	0.018	0.010	0.017	0.027
27	0.007	0.001	0.003	0.008	0.017	0.017	0.010	0.008	0.010	0.003	0.029	0.031
28	0.006	0.004	0.003	0.008	0.015	0.015	0.001	0.016	0.031	0.008	0.039	0.050
29	0.006	0.005	0.011	0.013	0.005	0.005	0.005	0.026	0.011	0.001	0.021	0.024
30	0.010	0.001	0.006	0.012	0.003	0.003	0.006	0.003	0.006	0.006	0.026	0.027
RMSE	0.005	0.004	0.007	0.009	0.008	0.006	0.015	0.018	0.010	0.007	0.030	0.032

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว เมื่อรังวัดยึด  
โยงค่าพิกัดทางตรง (ต่อ)

Scanning Distance (meter)	120				150			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.008	0.013	0.027	0.031	0.053	0.025	0.014	0.060
2	0.017	0.008	0.049	0.053	0.017	0.031	0.078	0.086
3	0.034	0.012	0.042	0.055	0.035	0.000	0.009	0.036
4	0.019	0.001	0.125	0.127	0.015	0.007	0.086	0.088
5	0.017	0.001	0.016	0.023	0.001	0.022	0.064	0.068
6	0.016	0.009	0.030	0.035	0.023	0.007	0.025	0.034
7	0.031	0.017	0.007	0.036	0.040	0.065	0.003	0.076
8	0.046	0.026	0.003	0.053	0.017	0.008	0.032	0.037
9	0.014	0.001	0.049	0.051	0.011	0.006	0.099	0.100
10	0.009	0.003	0.003	0.010	0.021	0.009	0.108	0.111
11	0.004	0.004	0.067	0.068	0.024	0.004	0.028	0.038
12	0.000	0.000	0.021	0.021	0.025	0.006	0.028	0.038
13	0.009	0.005	0.000	0.010	0.016	0.047	0.000	0.049
14	0.018	0.013	0.025	0.034	0.094	0.052	0.033	0.112
15	0.014	0.001	0.058	0.060	0.021	0.006	0.028	0.035
16	0.020	0.001	0.041	0.046	0.045	0.060	0.116	0.138
17	0.021	0.013	0.059	0.064	0.001	0.016	0.009	0.018
18	0.004	0.007	0.028	0.030	0.027	0.004	0.057	0.064
19	0.002	0.040	0.011	0.042	0.015	0.009	0.072	0.074
20	0.002	0.005	0.020	0.020	0.040	0.002	0.059	0.071
21	0.001	0.006	0.025	0.026	0.005	0.015	0.004	0.016
22	0.003	0.001	0.032	0.032	0.024	0.045	0.056	0.076
23	0.019	0.004	0.066	0.069	0.042	0.056	0.012	0.071
24	0.020	0.004	0.029	0.035	0.000	0.004	0.056	0.056
25	0.010	0.006	0.019	0.022	0.034	0.022	0.009	0.041
26	0.027	0.004	0.000	0.027	0.019	0.004	0.088	0.090
27	0.020	0.003	0.048	0.052	0.000	0.000	0.010	0.010
28	0.016	0.004	0.032	0.036	0.000	0.005	0.044	0.044
29	0.018	0.005	0.020	0.027	0.025	0.002	0.048	0.054
30	0.001	0.001	0.056	0.056	0.017	0.011	0.021	0.029
RMSE	0.018	0.011	0.042	0.046	0.028	0.026	0.053	0.066

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว เมื่อรังวัดยึด

โยงค่าพิกัดทางอ้อม

Scanning Distance (meter)	30				60				90			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.003	0.004	0.005	0.007	0.000	0.004	0.001	0.004	0.009	0.001	0.016	0.018
2	0.002	0.000	0.002	0.003	0.005	0.002	0.012	0.013	0.001	0.006	0.014	0.016
3	0.009	0.007	0.009	0.014	0.007	0.005	0.021	0.023	0.001	0.002	0.020	0.020
4	0.002	0.004	0.009	0.009	0.001	0.009	0.003	0.009	0.006	0.008	0.025	0.027
5	0.002	0.003	0.016	0.016	0.008	0.009	0.013	0.018	0.003	0.003	0.016	0.016
6	0.002	0.001	0.007	0.008	0.010	0.005	0.009	0.014	0.000	0.007	0.034	0.035
7	0.009	0.004	0.000	0.010	0.003	0.006	0.007	0.010	0.000	0.003	0.030	0.030
8	0.008	0.006	0.012	0.016	0.002	0.006	0.012	0.013	0.003	0.000	0.014	0.015
9	0.003	0.007	0.003	0.008	0.009	0.009	0.001	0.012	0.004	0.017	0.016	0.024
10	0.009	0.000	0.007	0.012	0.010	0.011	0.024	0.029	0.006	0.007	0.025	0.027
11	0.005	0.001	0.001	0.005	0.003	0.011	0.017	0.021	0.004	0.004	0.015	0.016
12	0.003	0.002	0.003	0.004	0.007	0.002	0.002	0.007	0.008	0.011	0.005	0.015
13	0.004	0.000	0.015	0.016	0.003	0.011	0.001	0.012	0.011	0.005	0.006	0.013
14	0.005	0.001	0.004	0.006	0.004	0.008	0.012	0.015	0.012	0.001	0.029	0.031
15	0.005	0.001	0.003	0.006	0.015	0.004	0.007	0.017	0.005	0.001	0.016	0.017
16	0.007	0.002	0.005	0.008	0.015	0.002	0.008	0.017	0.004	0.007	0.016	0.018
17	0.003	0.002	0.006	0.007	0.004	0.004	0.011	0.013	0.013	0.001	0.018	0.022
18	0.005	0.001	0.011	0.013	0.018	0.008	0.008	0.021	0.003	0.004	0.008	0.010
19	0.006	0.001	0.003	0.007	0.006	0.001	0.001	0.006	0.019	0.003	0.005	0.020
20	0.004	0.009	0.009	0.014	0.009	0.012	0.037	0.040	0.010	0.014	0.021	0.027
21	0.004	0.003	0.002	0.005	0.012	0.000	0.007	0.014	0.003	0.004	0.016	0.017
22	0.002	0.005	0.007	0.009	0.006	0.005	0.002	0.008	0.001	0.010	0.004	0.011
23	0.001	0.001	0.000	0.002	0.017	0.000	0.005	0.018	0.004	0.011	0.038	0.040
24	0.002	0.008	0.005	0.010	0.007	0.011	0.015	0.020	0.010	0.011	0.022	0.027
25	0.006	0.002	0.011	0.012	0.005	0.007	0.026	0.027	0.004	0.009	0.033	0.034
26	0.004	0.001	0.015	0.016	0.008	0.001	0.006	0.010	0.005	0.002	0.001	0.005
27	0.011	0.001	0.001	0.011	0.008	0.006	0.011	0.015	0.003	0.009	0.009	0.013
28	0.002	0.003	0.002	0.004	0.007	0.004	0.009	0.012	0.018	0.004	0.017	0.025
29	0.002	0.006	0.011	0.012	0.005	0.009	0.023	0.025	0.002	0.011	0.003	0.012
30	0.006	0.002	0.006	0.009	0.015	0.003	0.009	0.009	0.019	0.006	0.005	0.021
RMSE	0.005	0.005	0.008	0.011	0.009	0.007	0.014	0.018	0.008	0.011	0.020	0.023

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว เมื่อรังวัดยึด  
โยงค่าพิกัดทางอ้อม (ต่อ)

Scanning Distance (meter)	120				150			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.002	0.009	0.013	0.016	0.031	0.009	0.048	0.058
2	0.011	0.003	0.007	0.014	0.019	0.009	0.012	0.025
3	0.010	0.020	0.002	0.023	0.013	0.017	0.059	0.062
4	0.013	0.007	0.012	0.019	0.039	0.012	0.014	0.043
5	0.011	0.006	0.033	0.035	0.025	0.002	0.012	0.028
6	0.010	0.002	0.020	0.023	0.001	0.013	0.054	0.056
7	0.006	0.001	0.030	0.031	0.010	0.017	0.037	0.042
8	0.018	0.002	0.017	0.025	0.019	0.009	0.006	0.022
9	0.014	0.008	0.013	0.021	0.029	0.010	0.040	0.051
10	0.011	0.012	0.036	0.040	0.032	0.009	0.039	0.052
11	0.006	0.006	0.019	0.021	0.011	0.023	0.049	0.055
12	0.002	0.005	0.009	0.011	0.023	0.007	0.023	0.034
13	0.011	0.003	0.036	0.038	0.004	0.006	0.045	0.046
14	0.018	0.003	0.023	0.029	0.028	0.001	0.053	0.060
15	0.018	0.007	0.028	0.034	0.019	0.004	0.026	0.032
16	0.018	0.014	0.007	0.023	0.002	0.009	0.056	0.057
17	0.018	0.004	0.016	0.025	0.002	0.002	0.063	0.063
18	0.003	0.001	0.004	0.005	0.020	0.003	0.000	0.020
19	0.015	0.001	0.028	0.032	0.014	0.003	0.004	0.015
20	0.007	0.009	0.008	0.014	0.027	0.017	0.007	0.032
21	0.010	0.011	0.009	0.017	0.016	0.009	0.057	0.060
22	0.004	0.006	0.008	0.011	0.014	0.007	0.016	0.022
23	0.013	0.005	0.020	0.024	0.023	0.008	0.036	0.043
24	0.013	0.005	0.007	0.016	0.019	0.005	0.011	0.023
25	0.001	0.001	0.024	0.024	0.007	0.002	0.023	0.024
26	0.014	0.007	0.034	0.037	0.014	0.006	0.023	0.028
27	0.012	0.001	0.008	0.015	0.027	0.005	0.045	0.052
28	0.018	0.005	0.015	0.024	0.016	0.004	0.039	0.043
29	0.004	0.002	0.017	0.018	0.003	0.006	0.021	0.022
30	0.014	0.006	0.013	0.020	0.002	0.013	0.057	0.059
RMSE	0.012	0.008	0.020	0.024	0.019	0.010	0.036	0.042

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

Between station (meter)	5				10				15			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.004	0.000	0.004	0.006	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.008	0.001	0.008
2	0.002	0.001	0.008	0.009	0.004	0.008	0.001	0.009	0.001	0.003	0.005	0.006
3	0.004	0.006	0.004	0.008	0.001	0.002	0.008	0.008	0.006	0.001	0.008	0.010
4	0.006	0.006	0.003	0.009	0.008	0.007	0.007	0.013	0.005	0.001	0.002	0.005
5	0.006	0.004	0.001	0.007	0.000	0.007	0.008	0.010	0.006	0.000	0.003	0.006
6	0.001	0.007	0.005	0.009	0.005	0.003	0.004	0.007	0.004	0.001	0.002	0.005
7	0.002	0.000	0.001	0.002	0.001	0.006	0.002	0.006	0.005	0.003	0.000	0.006
8	0.006	0.002	0.004	0.007	0.001	0.003	0.005	0.006	0.004	0.004	0.006	0.008
9	0.001	0.001	0.003	0.003	0.000	0.003	0.002	0.004	0.003	0.008	0.004	0.009
10	0.002	0.007	0.004	0.009	0.002	0.003	0.003	0.005	0.006	0.001	0.002	0.007
11	0.000	0.004	0.005	0.007	0.003	0.003	0.007	0.009	0.000	0.002	0.006	0.006
12	0.002	0.005	0.001	0.006	0.002	0.007	0.003	0.008	0.001	0.000	0.006	0.006
13	0.005	0.000	0.005	0.007	0.005	0.007	0.006	0.011	0.000	0.006	0.003	0.007
14	0.006	0.001	0.008	0.010	0.001	0.006	0.002	0.006	0.003	0.001	0.006	0.007
15	0.002	0.005	0.006	0.009	0.005	0.002	0.001	0.005	0.004	0.001	0.003	0.005
16	0.005	0.004	0.002	0.006	0.003	0.005	0.006	0.009	0.001	0.002	0.003	0.004
17	0.001	0.001	0.007	0.007	0.004	0.005	0.007	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001
18	0.003	0.004	0.001	0.005	0.001	0.005	0.007	0.009	0.004	0.007	0.007	0.010
19	0.003	0.006	0.008	0.011	0.006	0.003	0.004	0.008	0.000	0.005	0.006	0.008
20	0.007	0.005	0.006	0.011	0.001	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.006	0.007
21	0.001	0.007	0.002	0.007	0.002	0.002	0.005	0.006	0.003	0.008	0.010	0.013
22	0.002	0.001	0.004	0.004	0.003	0.005	0.002	0.006	0.000	0.006	0.002	0.006
23	0.002	0.001	0.008	0.008	0.006	0.002	0.003	0.007	0.002	0.000	0.001	0.003
24	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.004	0.005	0.006	0.003	0.003	0.003	0.005
25	0.001	0.000	0.004	0.004	0.007	0.007	0.001	0.010	0.004	0.003	0.002	0.005
26	0.003	0.000	0.004	0.005	0.004	0.006	0.002	0.008	0.002	0.002	0.002	0.004
27	0.004	0.002	0.006	0.008	0.003	0.006	0.003	0.007	0.002	0.007	0.004	0.009
28	0.004	0.008	0.006	0.011	0.002	0.006	0.006	0.008	0.002	0.007	0.004	0.008
29	0.003	0.007	0.006	0.010	0.003	0.003	0.008	0.009	0.003	0.004	0.008	0.010
30	0.005	0.005	0.004	0.008	0.008	0.009	0.006	0.014	0.001	0.003	0.002	0.004
RMSE	0.004	0.005	0.005	0.008	0.004	0.005	0.005	0.008	0.004	0.004	0.004	0.007



ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (ต่อ)

Between station (meter)	20				25			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.006	0.004	0.004	0.008	0.000	0.004	0.008	0.009
2	0.000	0.001	0.003	0.004	0.000	0.002	0.003	0.004
3	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.003	0.005	0.006
4	0.006	0.005	0.003	0.009	0.007	0.004	0.008	0.011
5	0.005	0.004	0.005	0.008	0.002	0.003	0.008	0.009
6	0.002	0.007	0.002	0.008	0.001	0.006	0.001	0.006
7	0.004	0.009	0.003	0.010	0.001	0.001	0.002	0.003
8	0.006	0.009	0.003	0.011	0.005	0.006	0.005	0.009
9	0.009	0.009	0.002	0.013	0.001	0.001	0.005	0.005
10	0.003	0.000	0.000	0.003	0.004	0.005	0.001	0.007
11	0.002	0.001	0.004	0.005	0.004	0.001	0.008	0.009
12	0.005	0.004	0.003	0.007	0.005	0.004	0.004	0.008
13	0.005	0.000	0.003	0.006	0.005	0.006	0.006	0.010
14	0.005	0.000	0.007	0.008	0.005	0.005	0.000	0.007
15	0.004	0.005	0.005	0.009	0.001	0.006	0.008	0.010
16	0.004	0.004	0.001	0.006	0.004	0.007	0.006	0.010
17	0.004	0.003	0.005	0.008	0.003	0.006	0.006	0.009
18	0.005	0.002	0.005	0.007	0.002	0.003	0.008	0.008
19	0.004	0.002	0.004	0.006	0.005	0.003	0.000	0.006
20	0.001	0.002	0.006	0.006	0.005	0.005	0.007	0.010
21	0.007	0.005	0.001	0.009	0.007	0.003	0.003	0.008
22	0.003	0.004	0.003	0.006	0.004	0.001	0.005	0.006
23	0.004	0.000	0.001	0.005	0.003	0.005	0.008	0.010
24	0.005	0.006	0.001	0.008	0.006	0.000	0.000	0.006
25	0.005	0.001	0.003	0.006	0.000	0.000	0.001	0.001
26	0.003	0.005	0.007	0.009	0.003	0.002	0.003	0.005
27	0.004	0.001	0.005	0.006	0.004	0.002	0.001	0.005
28	0.004	0.002	0.006	0.007	0.000	0.002	0.007	0.008
29	0.004	0.006	0.006	0.009	0.005	0.005	0.004	0.008
30	0.006	0.005	0.001	0.008	0.002	0.004	0.002	0.005
RMSE	0.005	0.004	0.004	0.007	0.004	0.004	0.005	0.008

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

Between station (meter)	5				10				15			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.003	0.001	0.006	0.007	0.000	0.003	0.005	0.006	0.004	0.001	0.008	0.009
2	0.007	0.005	0.001	0.009	0.007	0.006	0.007	0.011	0.007	0.003	0.008	0.011
3	0.006	0.003	0.005	0.009	0.005	0.005	0.009	0.011	0.007	0.002	0.003	0.008
4	0.005	0.006	0.006	0.009	0.005	0.006	0.000	0.008	0.001	0.003	0.007	0.008
5	0.005	0.002	0.008	0.010	0.005	0.004	0.000	0.006	0.002	0.003	0.006	0.007
6	0.004	0.000	0.008	0.009	0.002	0.004	0.001	0.005	0.004	0.005	0.000	0.006
7	0.005	0.003	0.001	0.006	0.001	0.006	0.003	0.007	0.001	0.002	0.003	0.004
8	0.002	0.001	0.007	0.008	0.005	0.000	0.004	0.007	0.005	0.007	0.005	0.009
9	0.004	0.002	0.003	0.006	0.003	0.005	0.001	0.006	0.004	0.002	0.008	0.009
10	0.001	0.003	0.005	0.006	0.006	0.008	0.002	0.010	0.001	0.003	0.002	0.004
11	0.005	0.001	0.004	0.006	0.006	0.007	0.004	0.010	0.003	0.004	0.008	0.010
12	0.002	0.007	0.004	0.008	0.002	0.003	0.002	0.004	0.002	0.008	0.006	0.010
13	0.002	0.000	0.006	0.007	0.005	0.002	0.002	0.006	0.003	0.003	0.003	0.006
14	0.004	0.007	0.002	0.008	0.003	0.003	0.003	0.005	0.005	0.001	0.009	0.010
15	0.002	0.000	0.004	0.004	0.006	0.001	0.008	0.010	0.002	0.002	0.000	0.002
16	0.006	0.000	0.006	0.008	0.000	0.006	0.003	0.007	0.003	0.007	0.006	0.010
17	0.007	0.009	0.007	0.013	0.001	0.008	0.004	0.009	0.001	0.002	0.002	0.003
18	0.002	0.003	0.005	0.007	0.006	0.007	0.003	0.010	0.006	0.007	0.003	0.010
19	0.002	0.004	0.002	0.005	0.006	0.007	0.003	0.010	0.003	0.003	0.005	0.006
20	0.006	0.004	0.002	0.007	0.003	0.005	0.009	0.011	0.004	0.003	0.000	0.005
21	0.000	0.003	0.006	0.007	0.002	0.006	0.004	0.007	0.002	0.006	0.003	0.007
22	0.002	0.005	0.006	0.008	0.006	0.000	0.002	0.007	0.004	0.007	0.008	0.011
23	0.007	0.001	0.001	0.007	0.001	0.006	0.003	0.007	0.004	0.003	0.006	0.008
24	0.004	0.003	0.006	0.008	0.003	0.005	0.001	0.006	0.005	0.005	0.002	0.007
25	0.006	0.000	0.002	0.006	0.007	0.001	0.007	0.010	0.004	0.000	0.007	0.008
26	0.004	0.002	0.005	0.006	0.005	0.006	0.008	0.011	0.005	0.007	0.005	0.010
27	0.005	0.003	0.001	0.006	0.005	0.000	0.006	0.008	0.005	0.005	0.008	0.010
28	0.004	0.003	0.000	0.005	0.001	0.003	0.007	0.008	0.000	0.008	0.008	0.012
29	0.002	0.001	0.002	0.003	0.000	0.003	0.001	0.003	0.007	0.006	0.006	0.011
30	0.005	0.004	0.006	0.009	0.005	0.008	0.005	0.011	0.002	0.008	0.007	0.011
RMSE	0.004	0.004	0.005	0.008	0.004	0.005	0.005	0.008	0.004	0.005	0.006	0.008

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (ต่อ)

Between station (meter)	20				25			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.002	0.003	0.003	0.005	0.006	0.003	0.008	0.010
2	0.002	0.002	0.004	0.005	0.001	0.007	0.003	0.008
3	0.002	0.005	0.003	0.006	0.001	0.006	0.008	0.010
4	0.004	0.005	0.002	0.007	0.006	0.002	0.005	0.008
5	0.001	0.007	0.000	0.007	0.003	0.004	0.001	0.005
6	0.001	0.002	0.006	0.006	0.006	0.007	0.005	0.011
7	0.002	0.008	0.002	0.008	0.007	0.006	0.002	0.009
8	0.004	0.002	0.002	0.005	0.004	0.001	0.007	0.008
9	0.005	0.007	0.000	0.009	0.003	0.007	0.007	0.010
10	0.001	0.003	0.007	0.008	0.002	0.006	0.004	0.008
11	0.002	0.002	0.006	0.006	0.005	0.004	0.006	0.008
12	0.005	0.008	0.008	0.012	0.004	0.008	0.009	0.013
13	0.005	0.009	0.003	0.010	0.006	0.000	0.007	0.009
14	0.003	0.001	0.008	0.009	0.004	0.009	0.009	0.013
15	0.001	0.000	0.006	0.006	0.003	0.002	0.002	0.004
16	0.001	0.002	0.001	0.003	0.006	0.006	0.001	0.008
17	0.003	0.001	0.005	0.006	0.003	0.006	0.001	0.006
18	0.002	0.009	0.003	0.009	0.006	0.006	0.001	0.008
19	0.002	0.007	0.004	0.008	0.005	0.003	0.008	0.010
20	0.003	0.000	0.005	0.006	0.002	0.008	0.003	0.009
21	0.003	0.001	0.003	0.004	0.005	0.002	0.004	0.007
22	0.003	0.008	0.001	0.008	0.004	0.006	0.007	0.010
23	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.006	0.006	0.009
24	0.003	0.004	0.002	0.006	0.005	0.006	0.006	0.010
25	0.002	0.005	0.006	0.008	0.002	0.002	0.007	0.008
26	0.001	0.001	0.008	0.008	0.003	0.007	0.007	0.011
27	0.003	0.002	0.007	0.008	0.006	0.008	0.006	0.011
28	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.005	0.005	0.008
29	0.001	0.006	0.003	0.007	0.003	0.002	0.003	0.005
30	0.001	0.008	0.003	0.008	0.006	0.007	0.007	0.012
RMSE	0.003	0.005	0.004	0.007	0.004	0.005	0.005	0.009

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

Between station (meter)	5				10				15			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.002	0.013	0.002	0.014	0.004	0.004	0.009	0.011	0.002	0.013	0.002	0.014
2	0.007	0.012	0.001	0.014	0.007	0.012	0.001	0.014	0.007	0.012	0.001	0.014
3	0.005	0.013	0.014	0.020	0.004	0.013	0.004	0.014	0.003	0.007	0.009	0.012
4	0.001	0.009	0.010	0.014	0.000	0.009	0.010	0.013	0.006	0.004	0.005	0.009
5	0.003	0.001	0.022	0.022	0.005	0.009	0.003	0.011	0.000	0.003	0.007	0.008
6	0.009	0.003	0.031	0.032	0.005	0.004	0.012	0.013	0.005	0.004	0.029	0.030
7	0.000	0.004	0.001	0.004	0.000	0.004	0.002	0.004	0.000	0.004	0.001	0.004
8	0.005	0.000	0.027	0.028	0.005	0.013	0.012	0.019	0.002	0.003	0.013	0.014
9	0.000	0.006	0.013	0.014	0.008	0.006	0.031	0.033	0.007	0.010	0.046	0.048
10	0.008	0.012	0.021	0.025	0.004	0.006	0.034	0.035	0.006	0.009	0.009	0.014
11	0.004	0.006	0.008	0.011	0.002	0.005	0.007	0.009	0.002	0.005	0.007	0.009
12	0.001	0.007	0.014	0.015	0.005	0.008	0.011	0.014	0.004	0.014	0.008	0.017
13	0.003	0.002	0.003	0.005	0.003	0.002	0.003	0.005	0.001	0.008	0.007	0.011
14	0.006	0.003	0.021	0.022	0.004	0.019	0.021	0.028	0.000	0.003	0.004	0.005
15	0.007	0.010	0.011	0.016	0.007	0.010	0.011	0.016	0.008	0.007	0.051	0.052
16	0.009	0.012	0.024	0.028	0.003	0.002	0.002	0.004	0.008	0.006	0.035	0.036
17	0.000	0.008	0.005	0.009	0.004	0.005	0.001	0.006	0.001	0.015	0.004	0.016
18	0.001	0.005	0.002	0.005	0.001	0.031	0.001	0.031	0.000	0.003	0.001	0.003
19	0.014	0.007	0.027	0.032	0.005	0.007	0.017	0.019	0.006	0.002	0.000	0.006
20	0.012	0.001	0.018	0.022	0.002	0.009	0.003	0.010	0.007	0.001	0.027	0.028
21	0.006	0.002	0.004	0.007	0.006	0.002	0.004	0.007	0.006	0.002	0.004	0.007
22	0.002	0.003	0.010	0.010	0.005	0.001	0.009	0.010	0.005	0.001	0.009	0.010
23	0.006	0.008	0.007	0.012	0.007	0.006	0.014	0.017	0.000	0.014	0.002	0.014
24	0.006	0.009	0.005	0.012	0.004	0.012	0.003	0.013	0.001	0.007	0.017	0.019
25	0.001	0.006	0.008	0.010	0.004	0.007	0.003	0.009	0.004	0.007	0.003	0.009
26	0.000	0.017	0.011	0.020	0.004	0.015	0.004	0.016	0.000	0.010	0.012	0.015
27	0.004	0.009	0.010	0.014	0.006	0.008	0.005	0.011	0.011	0.010	0.007	0.016
28	0.007	0.001	0.017	0.019	0.000	0.013	0.029	0.031	0.012	0.006	0.010	0.017
29	0.008	0.003	0.008	0.011	0.005	0.001	0.006	0.008	0.004	0.011	0.002	0.012
30	0.006	0.009	0.015	0.018	0.002	0.002	0.004	0.005	0.002	0.002	0.004	0.005
RMSE	0.009	0.009	0.016	0.020	0.004	0.011	0.013	0.018	0.005	0.009	0.017	0.020

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง (ต่อ)

Between station (meter)	20				25			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.003	0.013	0.002	0.014	0.002	0.017	0.008	0.018
2	0.007	0.012	0.001	0.014	0.008	0.011	0.005	0.015
3	0.003	0.008	0.017	0.019	0.005	0.013	0.011	0.018
4	0.001	0.009	0.010	0.014	0.004	0.001	0.009	0.010
5	0.009	0.021	0.021	0.031	0.010	0.000	0.023	0.025
6	0.002	0.007	0.012	0.014	0.007	0.018	0.005	0.020
7	0.000	0.004	0.001	0.004	0.007	0.006	0.008	0.012
8	0.006	0.004	0.015	0.017	0.005	0.015	0.022	0.028
9	0.004	0.015	0.018	0.024	0.004	0.019	0.002	0.019
10	0.003	0.001	0.032	0.032	0.001	0.026	0.009	0.028
11	0.002	0.005	0.007	0.009	0.006	0.005	0.002	0.008
12	0.004	0.014	0.008	0.017	0.007	0.005	0.026	0.027
13	0.003	0.002	0.003	0.005	0.011	0.011	0.021	0.026
14	0.000	0.004	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	0.011
15	0.007	0.010	0.011	0.016	0.007	0.008	0.005	0.011
16	0.006	0.009	0.024	0.026	0.009	0.007	0.005	0.012
17	0.004	0.014	0.002	0.015	0.004	0.005	0.002	0.006
18	0.004	0.007	0.000	0.009	0.005	0.008	0.024	0.025
19	0.009	0.006	0.041	0.043	0.009	0.014	0.009	0.019
20	0.010	0.004	0.029	0.031	0.009	0.014	0.006	0.018
21	0.006	0.002	0.004	0.007	0.006	0.002	0.024	0.025
22	0.005	0.001	0.000	0.005	0.013	0.021	0.020	0.032
23	0.005	0.011	0.009	0.015	0.005	0.015	0.021	0.026
24	0.005	0.023	0.016	0.028	0.000	0.010	0.001	0.010
25	0.004	0.007	0.003	0.009	0.002	0.014	0.019	0.024
26	0.001	0.003	0.003	0.004	0.009	0.006	0.022	0.024
27	0.001	0.008	0.015	0.017	0.004	0.014	0.001	0.014
28	0.012	0.006	0.010	0.017	0.012	0.006	0.013	0.019
29	0.003	0.003	0.022	0.023	0.005	0.005	0.014	0.016
30	0.002	0.002	0.004	0.005	0.002	0.002	0.019	0.019
RMSE	0.005	0.009	0.016	0.019	0.007	0.012	0.015	0.020

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

Between station (meter)	5				10				15			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.004	0.014	0.007	0.016	0.005	0.008	0.004	0.010	0.009	0.006	0.016	0.020
2	0.001	0.010	0.018	0.020	0.008	0.000	0.013	0.016	0.005	0.004	0.021	0.022
3	0.009	0.001	0.013	0.016	0.002	0.011	0.015	0.019	0.009	0.006	0.004	0.011
4	0.005	0.011	0.018	0.022	0.010	0.007	0.007	0.014	0.000	0.009	0.015	0.018
5	0.002	0.010	0.023	0.025	0.002	0.001	0.008	0.008	0.005	0.016	0.006	0.018
6	0.011	0.003	0.016	0.020	0.007	0.012	0.013	0.019	0.008	0.015	0.012	0.021
7	0.008	0.001	0.001	0.008	0.008	0.005	0.009	0.013	0.001	0.001	0.023	0.024
8	0.004	0.014	0.025	0.029	0.006	0.000	0.015	0.016	0.011	0.008	0.022	0.025
9	0.003	0.005	0.007	0.009	0.009	0.010	0.020	0.024	0.006	0.006	0.022	0.023
10	0.004	0.000	0.020	0.021	0.007	0.001	0.025	0.026	0.000	0.000	0.022	0.022
11	0.010	0.006	0.004	0.013	0.002	0.008	0.003	0.009	0.012	0.002	0.013	0.018
12	0.002	0.013	0.007	0.015	0.003	0.003	0.008	0.010	0.002	0.016	0.017	0.023
13	0.005	0.002	0.010	0.012	0.000	0.010	0.018	0.021	0.012	0.000	0.017	0.021
14	0.003	0.014	0.010	0.017	0.002	0.014	0.004	0.015	0.003	0.007	0.004	0.009
15	0.010	0.011	0.006	0.016	0.003	0.003	0.019	0.019	0.000	0.001	0.023	0.023
16	0.011	0.002	0.001	0.011	0.001	0.013	0.018	0.022	0.004	0.011	0.001	0.012
17	0.008	0.010	0.018	0.023	0.004	0.015	0.011	0.019	0.003	0.002	0.016	0.016
18	0.008	0.015	0.009	0.019	0.007	0.002	0.021	0.023	0.009	0.005	0.000	0.011
19	0.006	0.004	0.021	0.022	0.001	0.011	0.018	0.021	0.006	0.011	0.016	0.020
20	0.005	0.005	0.023	0.024	0.005	0.012	0.010	0.016	0.011	0.005	0.019	0.023
21	0.003	0.001	0.007	0.008	0.003	0.016	0.013	0.021	0.003	0.012	0.019	0.023
22	0.004	0.008	0.023	0.025	0.003	0.003	0.023	0.024	0.004	0.012	0.003	0.013
23	0.002	0.009	0.020	0.022	0.003	0.002	0.020	0.020	0.007	0.004	0.009	0.012
24	0.008	0.002	0.021	0.022	0.003	0.010	0.005	0.011	0.000	0.005	0.017	0.018
25	0.004	0.010	0.001	0.011	0.005	0.009	0.012	0.016	0.001	0.004	0.003	0.005
26	0.009	0.009	0.026	0.029	0.008	0.008	0.022	0.025	0.006	0.008	0.003	0.010
27	0.011	0.000	0.019	0.021	0.008	0.011	0.011	0.018	0.001	0.008	0.013	0.015
28	0.008	0.012	0.009	0.017	0.007	0.012	0.017	0.022	0.011	0.013	0.018	0.024
29	0.008	0.015	0.018	0.025	0.002	0.000	0.004	0.004	0.001	0.009	0.016	0.018
30	0.010	0.012	0.008	0.017	0.006	0.008	0.003	0.010	0.002	0.001	0.011	0.011
RMSE	0.007	0.009	0.015	0.019	0.006	0.009	0.014	0.017	0.007	0.009	0.016	0.019

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานีที่ระยะการ  
สแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม (ต่อ)

Between station (meter)	20				25			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.001	0.004	0.008	0.009	0.007	0.017	0.002	0.018
2	0.008	0.012	0.017	0.022	0.001	0.003	0.004	0.005
3	0.012	0.013	0.013	0.022	0.008	0.007	0.023	0.025
4	0.000	0.006	0.015	0.017	0.007	0.011	0.014	0.019
5	0.003	0.002	0.020	0.020	0.013	0.008	0.011	0.019
6	0.006	0.009	0.014	0.018	0.001	0.016	0.002	0.016
7	0.001	0.010	0.019	0.021	0.007	0.003	0.003	0.008
8	0.005	0.013	0.015	0.021	0.001	0.014	0.013	0.019
9	0.007	0.010	0.006	0.013	0.008	0.012	0.022	0.027
10	0.001	0.011	0.001	0.011	0.011	0.012	0.026	0.030
11	0.010	0.012	0.023	0.027	0.013	0.007	0.016	0.022
12	0.005	0.001	0.011	0.013	0.005	0.014	0.020	0.025
13	0.003	0.016	0.025	0.029	0.002	0.016	0.006	0.017
14	0.009	0.004	0.005	0.011	0.007	0.011	0.025	0.029
15	0.006	0.008	0.014	0.017	0.008	0.006	0.025	0.027
16	0.011	0.007	0.017	0.022	0.003	0.009	0.023	0.025
17	0.004	0.016	0.000	0.016	0.012	0.009	0.013	0.019
18	0.001	0.009	0.001	0.010	0.010	0.001	0.014	0.017
19	0.006	0.014	0.016	0.022	0.001	0.006	0.025	0.025
20	0.004	0.014	0.025	0.029	0.013	0.006	0.021	0.025
21	0.007	0.003	0.015	0.017	0.006	0.014	0.019	0.024
22	0.008	0.013	0.010	0.018	0.012	0.012	0.014	0.022
23	0.004	0.010	0.024	0.026	0.001	0.014	0.001	0.014
24	0.010	0.014	0.007	0.018	0.006	0.010	0.018	0.021
25	0.002	0.005	0.015	0.016	0.004	0.009	0.005	0.011
26	0.004	0.005	0.019	0.020	0.014	0.015	0.012	0.024
27	0.014	0.016	0.020	0.030	0.003	0.009	0.013	0.016
28	0.003	0.009	0.024	0.026	0.012	0.003	0.015	0.020
29	0.001	0.007	0.014	0.016	0.008	0.000	0.008	0.011
30	0.002	0.003	0.011	0.012	0.004	0.003	0.014	0.015
RMSE	0.007	0.010	0.015	0.019	0.008	0.010	0.016	0.020

ตารางที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี เมื่อรังวัดยึดโยง  
ค่าพิกัดทางตรง

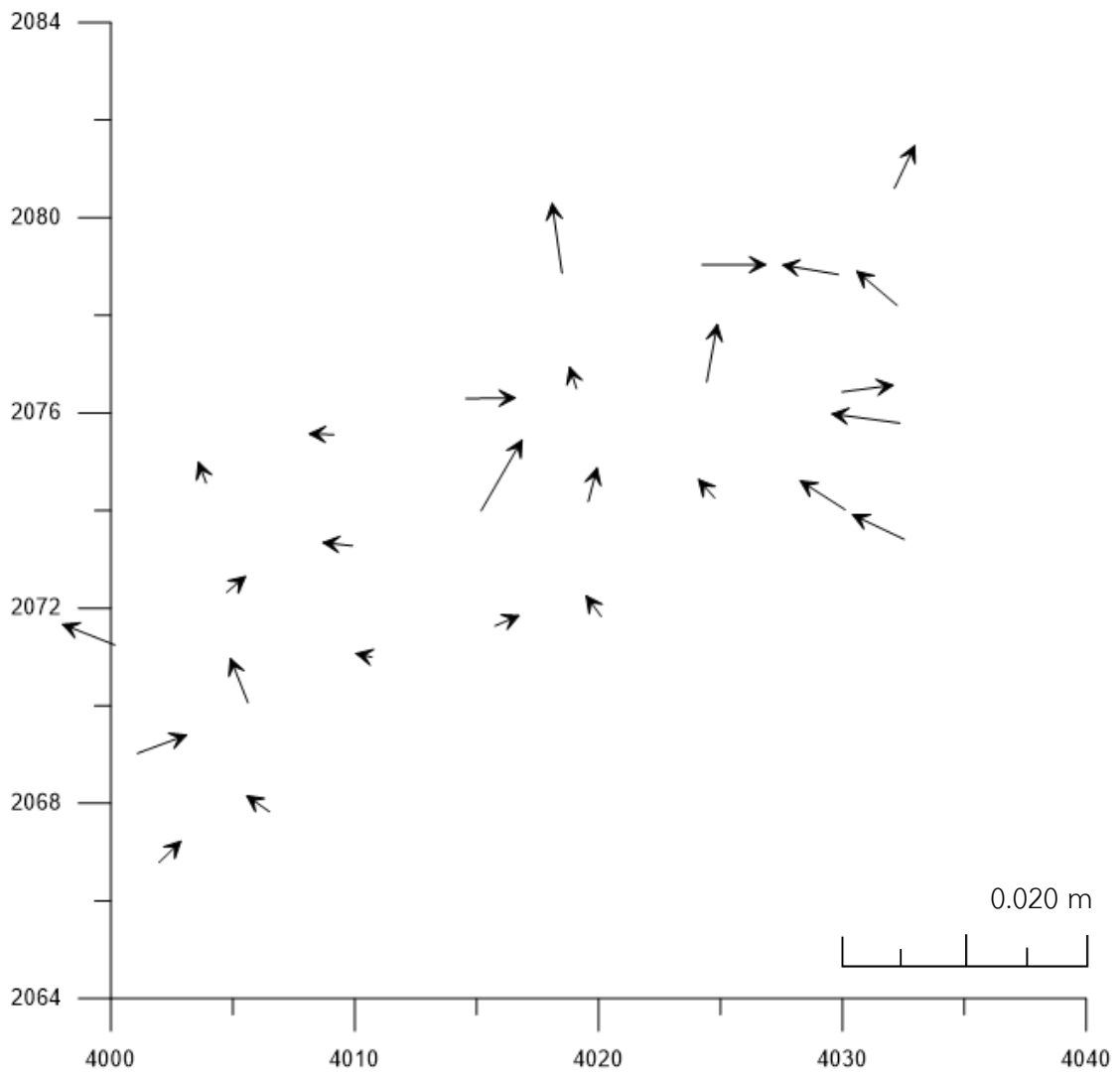
Scanning Distance (meter)	30				90			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.001	0.003	0.001	0.003	0.005	0.015	0.003	0.016
2	0.006	0.005	0.004	0.009	0.004	0.001	0.002	0.004
3	0.001	0.005	0.003	0.006	0.012	0.013	0.011	0.020
4	0.000	0.002	0.004	0.005	0.007	0.012	0.002	0.014
5	0.002	0.000	0.003	0.004	0.002	0.005	0.010	0.011
6	0.004	0.001	0.002	0.004	0.013	0.015	0.001	0.020
7	0.004	0.005	0.007	0.009	0.006	0.003	0.003	0.008
8	0.004	0.005	0.001	0.006	0.006	0.015	0.008	0.018
9	0.002	0.001	0.007	0.007	0.004	0.010	0.005	0.012
10	0.004	0.003	0.006	0.008	0.015	0.002	0.007	0.017
11	0.004	0.001	0.008	0.009	0.005	0.009	0.006	0.012
12	0.000	0.005	0.004	0.007	0.001	0.001	0.016	0.016
13	0.004	0.003	0.001	0.006	0.015	0.002	0.010	0.019
14	0.001	0.002	0.000	0.003	0.003	0.003	0.011	0.012
15	0.004	0.002	0.002	0.005	0.015	0.010	0.009	0.020
16	0.001	0.001	0.008	0.008	0.003	0.004	0.001	0.005
17	0.004	0.002	0.003	0.006	0.000	0.001	0.010	0.010
18	0.004	0.003	0.001	0.006	0.007	0.005	0.005	0.010
19	0.002	0.001	0.003	0.003	0.001	0.010	0.011	0.015
20	0.004	0.004	0.001	0.006	0.015	0.010	0.003	0.018
21	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.006	0.014	0.015
22	0.005	0.005	0.008	0.011	0.005	0.012	0.013	0.018
23	0.000	0.007	0.001	0.007	0.006	0.012	0.012	0.018
24	0.004	0.001	0.004	0.006	0.010	0.007	0.007	0.014
25	0.001	0.001	0.009	0.009	0.001	0.010	0.009	0.013
26	0.004	0.003	0.008	0.010	0.016	0.006	0.011	0.020
27	0.006	0.004	0.002	0.008	0.003	0.008	0.016	0.019
28	0.001	0.001	0.008	0.008	0.001	0.002	0.000	0.002
29	0.005	0.003	0.001	0.006	0.012	0.013	0.013	0.022
30	0.002	0.002	0.005	0.006	0.001	0.012	0.011	0.016
RMSE	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008	0.010	0.009	0.016



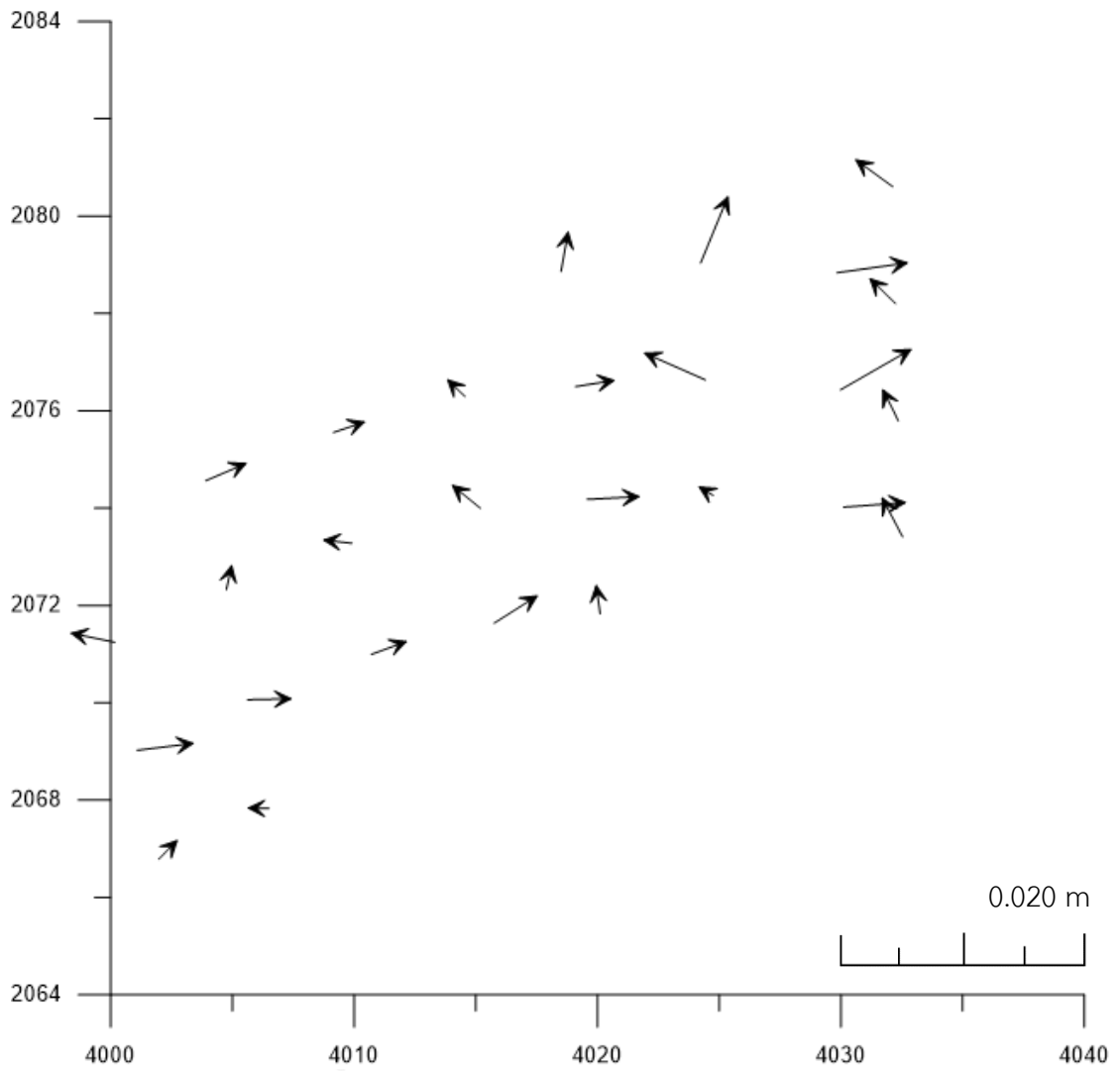
ตารางที่ 8 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามสถานี เมื่อรังวัดยึดโยง  
ค่าพิกัดทางอ้อม

Scanning Distance (meter)	30				90			
Check points	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$	sum
1	0.005	0.007	0.010	0.014	0.016	0.014	0.008	0.023
2	0.009	0.000	0.006	0.011	0.000	0.006	0.008	0.010
3	0.001	0.002	0.009	0.009	0.007	0.010	0.018	0.021
4	0.010	0.001	0.006	0.012	0.018	0.006	0.015	0.024
5	0.010	0.005	0.000	0.011	0.009	0.009	0.020	0.024
6	0.006	0.006	0.001	0.008	0.014	0.001	0.020	0.024
7	0.004	0.006	0.003	0.007	0.002	0.015	0.008	0.017
8	0.007	0.007	0.005	0.011	0.006	0.006	0.011	0.014
9	0.002	0.006	0.003	0.007	0.007	0.004	0.013	0.015
10	0.006	0.006	0.010	0.013	0.004	0.008	0.004	0.010
11	0.003	0.006	0.006	0.009	0.008	0.002	0.008	0.011
12	0.007	0.002	0.007	0.010	0.005	0.009	0.010	0.014
13	0.009	0.007	0.004	0.012	0.003	0.007	0.018	0.020
14	0.008	0.004	0.004	0.010	0.003	0.013	0.002	0.013
15	0.002	0.006	0.008	0.010	0.005	0.017	0.019	0.025
16	0.007	0.000	0.001	0.007	0.016	0.015	0.020	0.030
17	0.009	0.004	0.002	0.010	0.008	0.011	0.019	0.024
18	0.004	0.002	0.001	0.005	0.016	0.007	0.013	0.022
19	0.002	0.003	0.000	0.004	0.020	0.005	0.004	0.021
20	0.009	0.006	0.000	0.011	0.005	0.001	0.012	0.013
21	0.010	0.001	0.003	0.010	0.016	0.015	0.013	0.026
22	0.004	0.005	0.009	0.010	0.002	0.015	0.015	0.021
23	0.003	0.007	0.000	0.008	0.010	0.016	0.011	0.022
24	0.007	0.009	0.001	0.011	0.006	0.008	0.003	0.011
25	0.006	0.004	0.002	0.007	0.005	0.008	0.008	0.012
26	0.002	0.001	0.003	0.004	0.014	0.005	0.018	0.024
27	0.002	0.003	0.009	0.009	0.000	0.015	0.003	0.015
28	0.008	0.007	0.011	0.015	0.020	0.010	0.012	0.025
29	0.001	0.000	0.008	0.008	0.014	0.006	0.005	0.016
30	0.006	0.001	0.001	0.006	0.010	0.002	0.006	0.012
RMSE	0.004	0.004	0.005	0.008	0.009	0.009	0.012	0.018

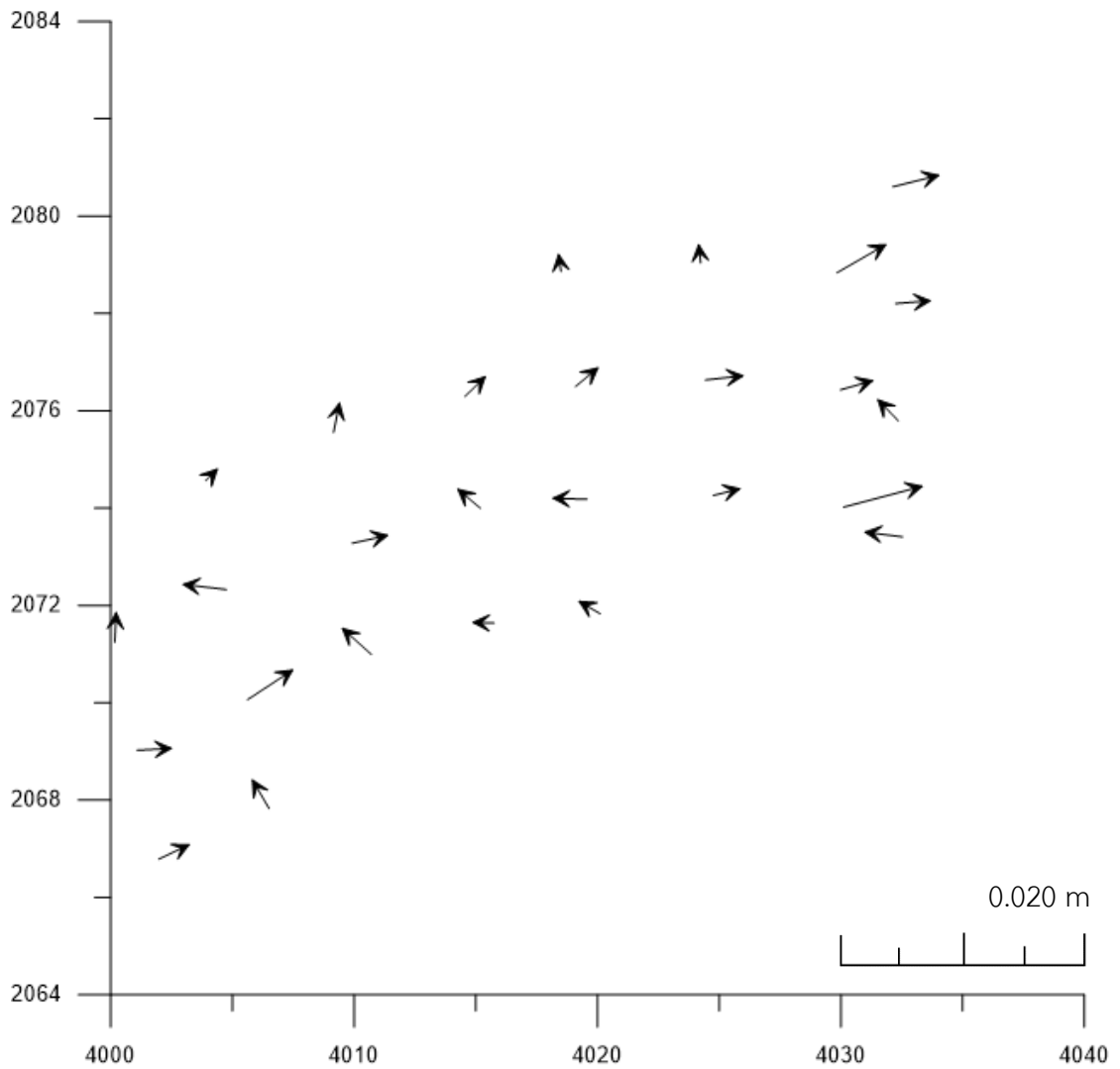
ภาคผนวก ง เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยท์คลาวด์



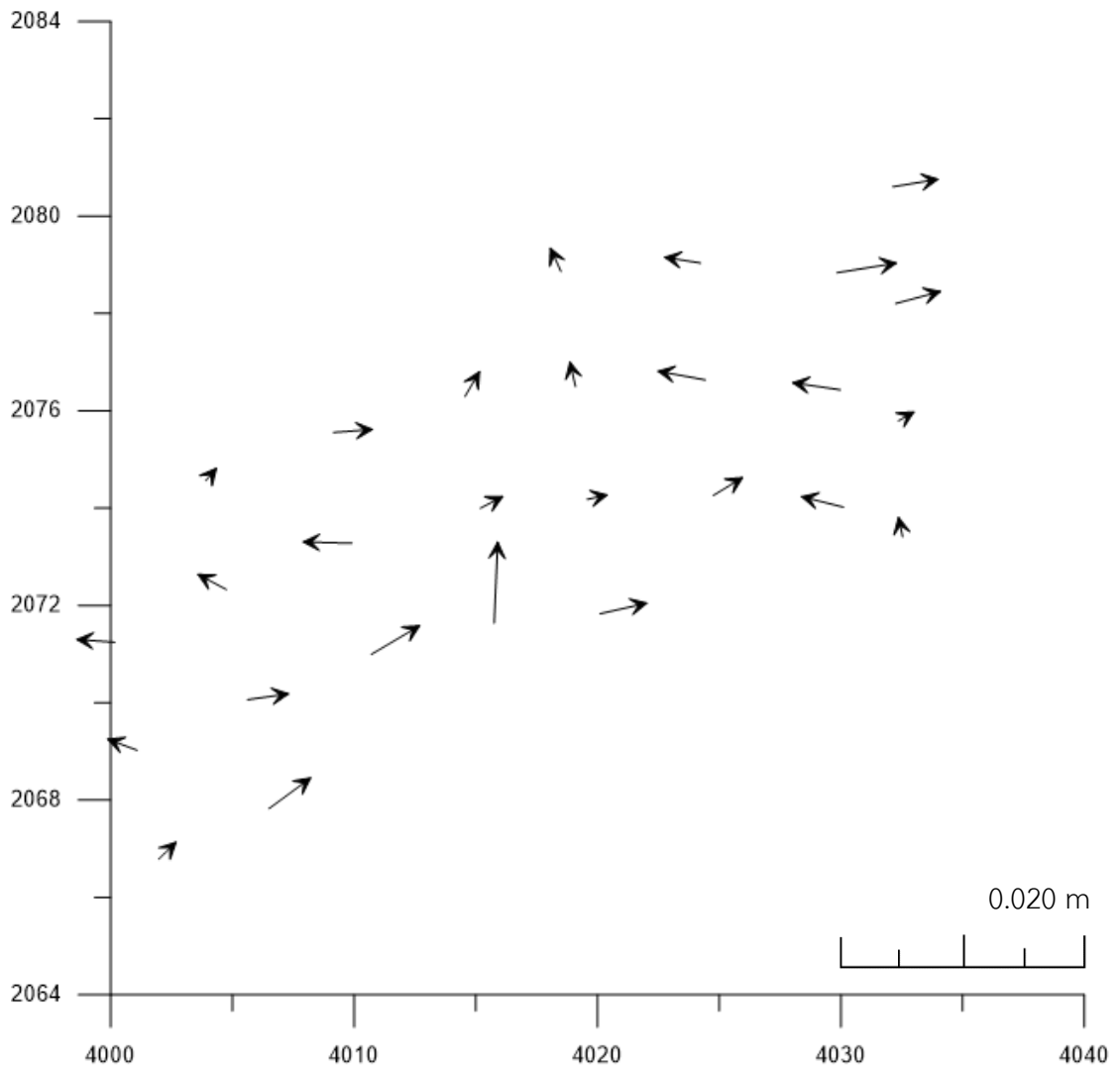
รูปที่ 1 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว  
ที่ระยะการสแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



รูปที่ 2 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว  
ที่ระยะการสแกน 60 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

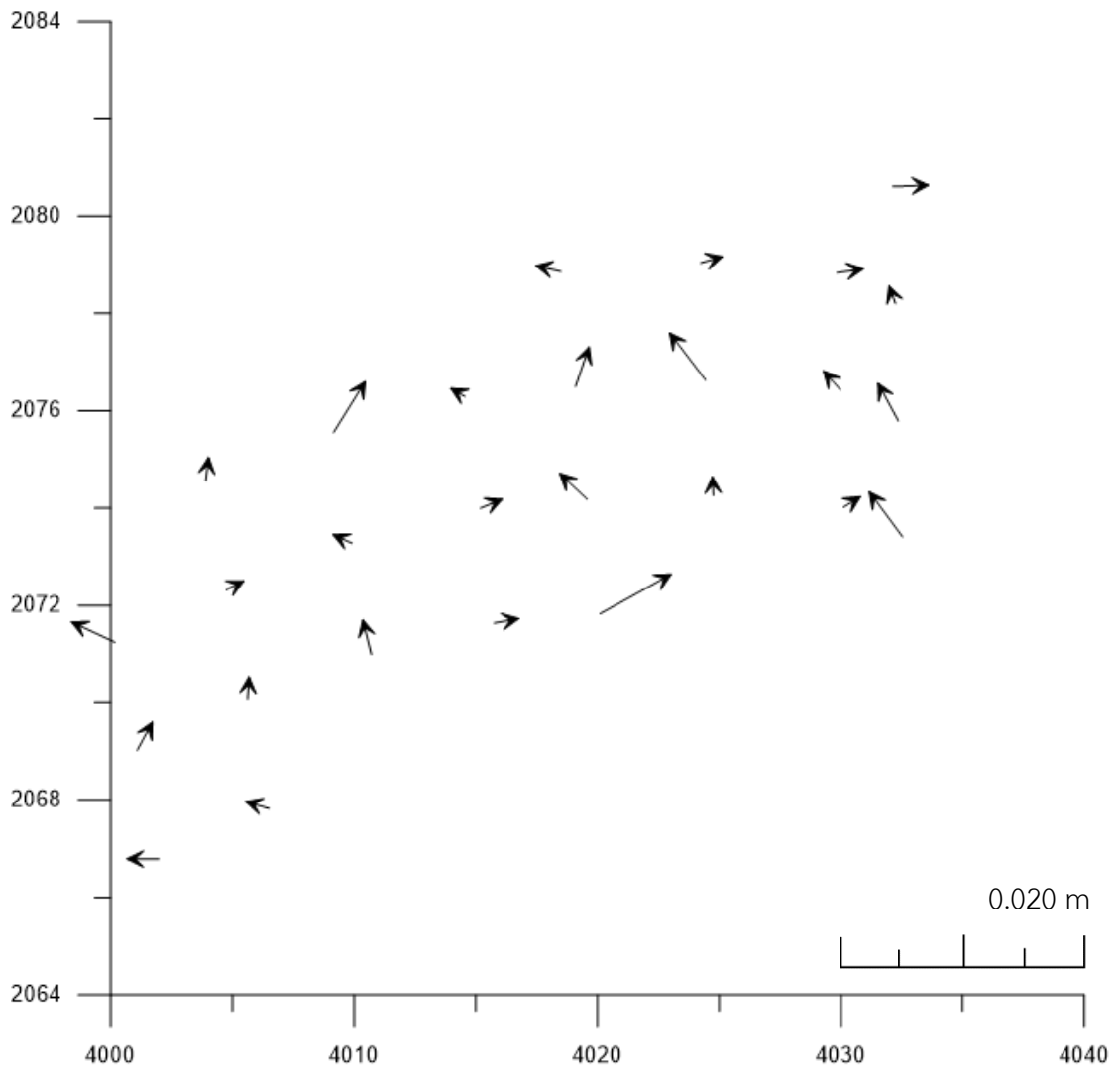


**รูปที่ 3** เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว  
ที่ระยะการสแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



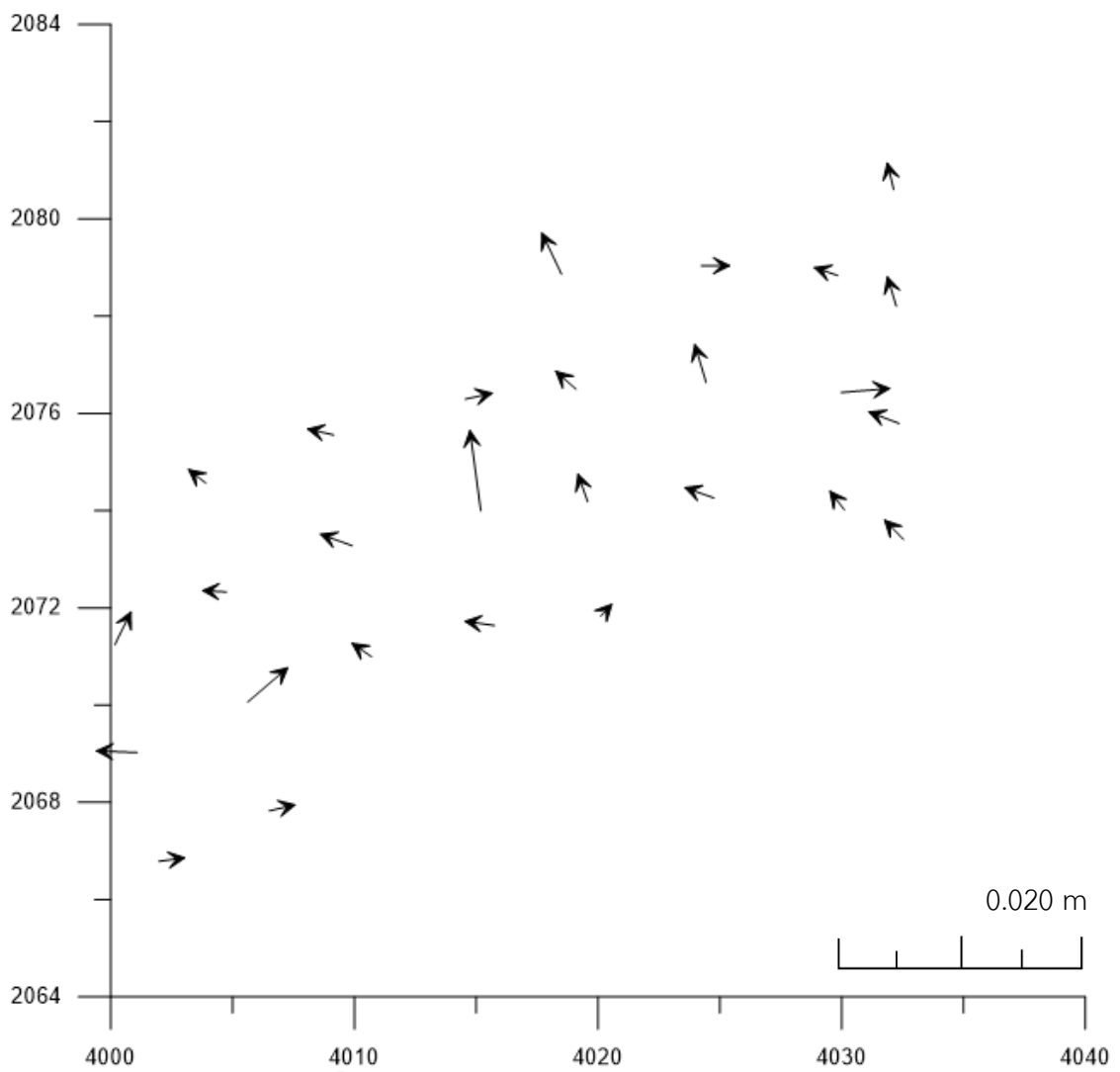
รูปที่ 4 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว

ที่ระยะการสแกน 120 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



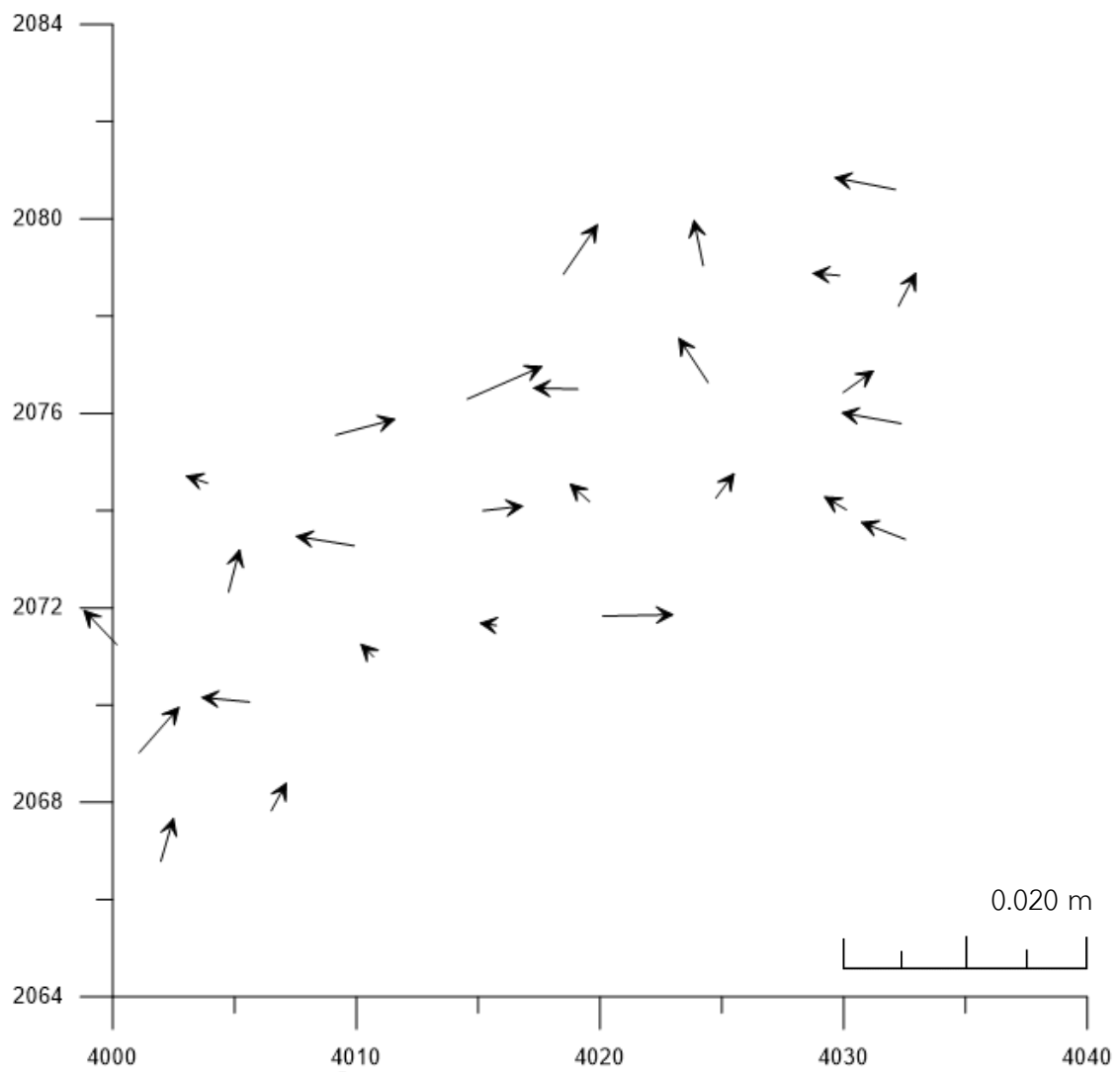
รูปที่ 5 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว

ที่ระยะการสแกน 150 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



รูปที่ 6 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว

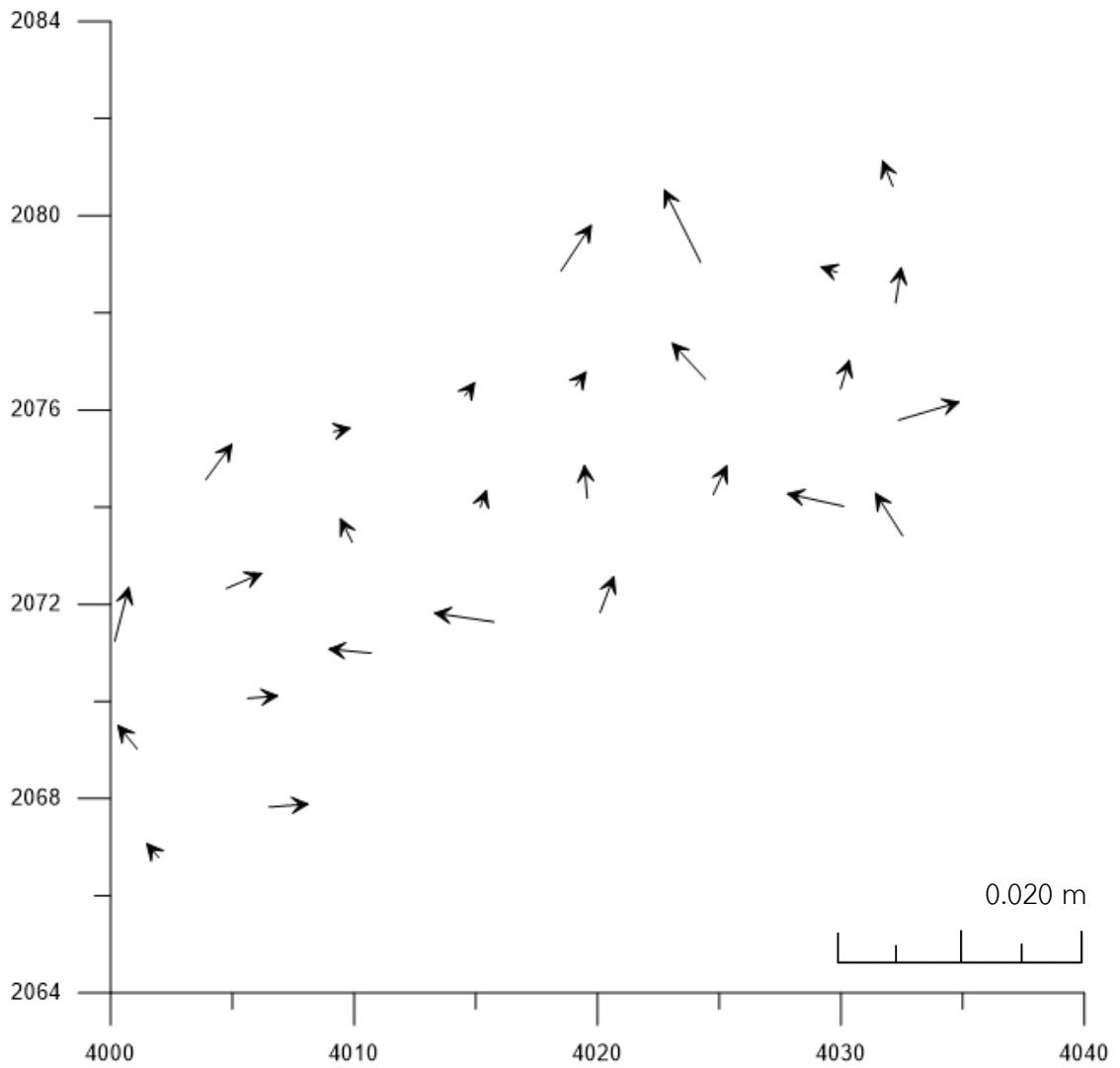
ที่ระยะการสแกน 30 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



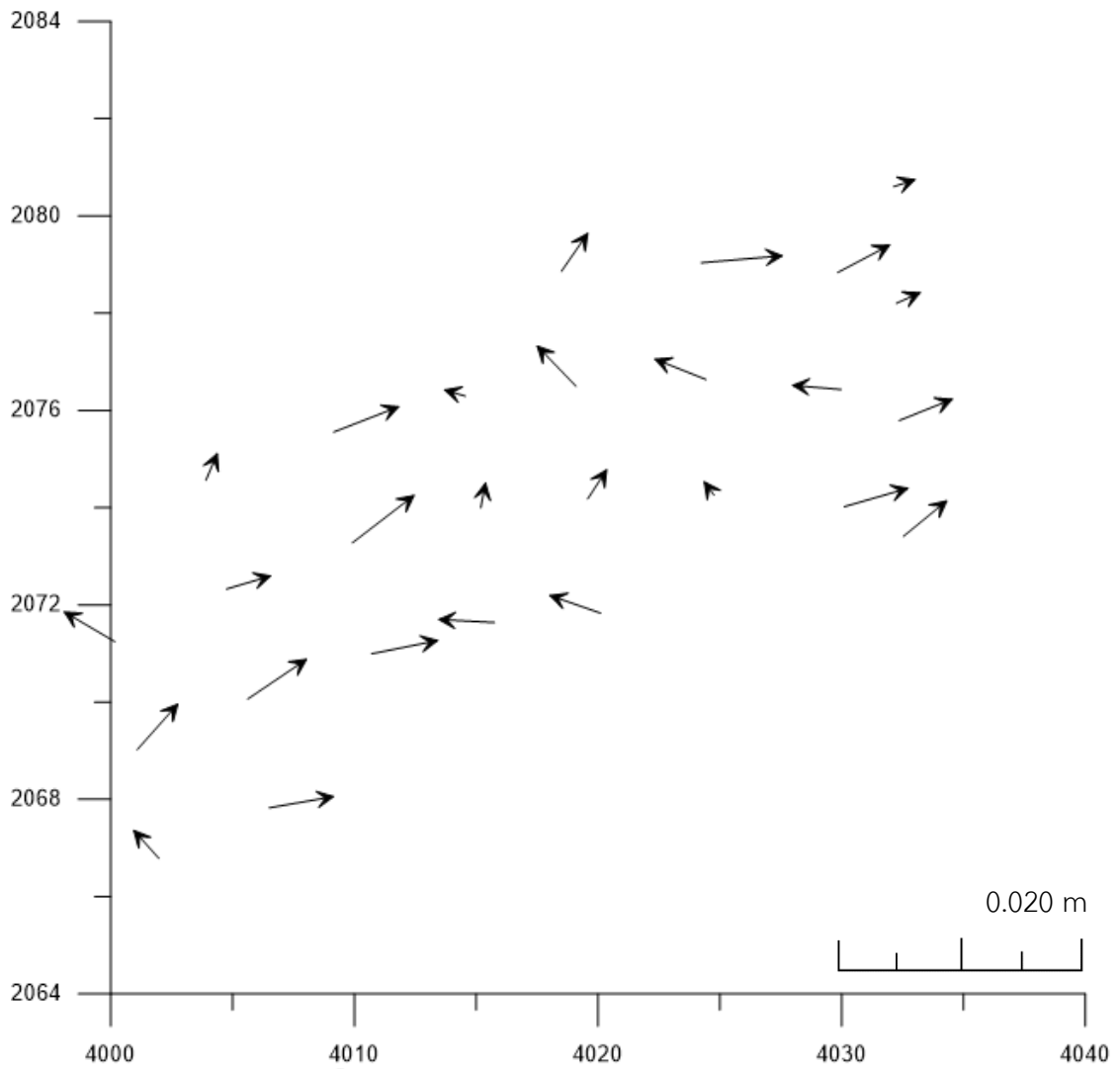
รูปที่ 7 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว

ที่ระยะการสแกน 60 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



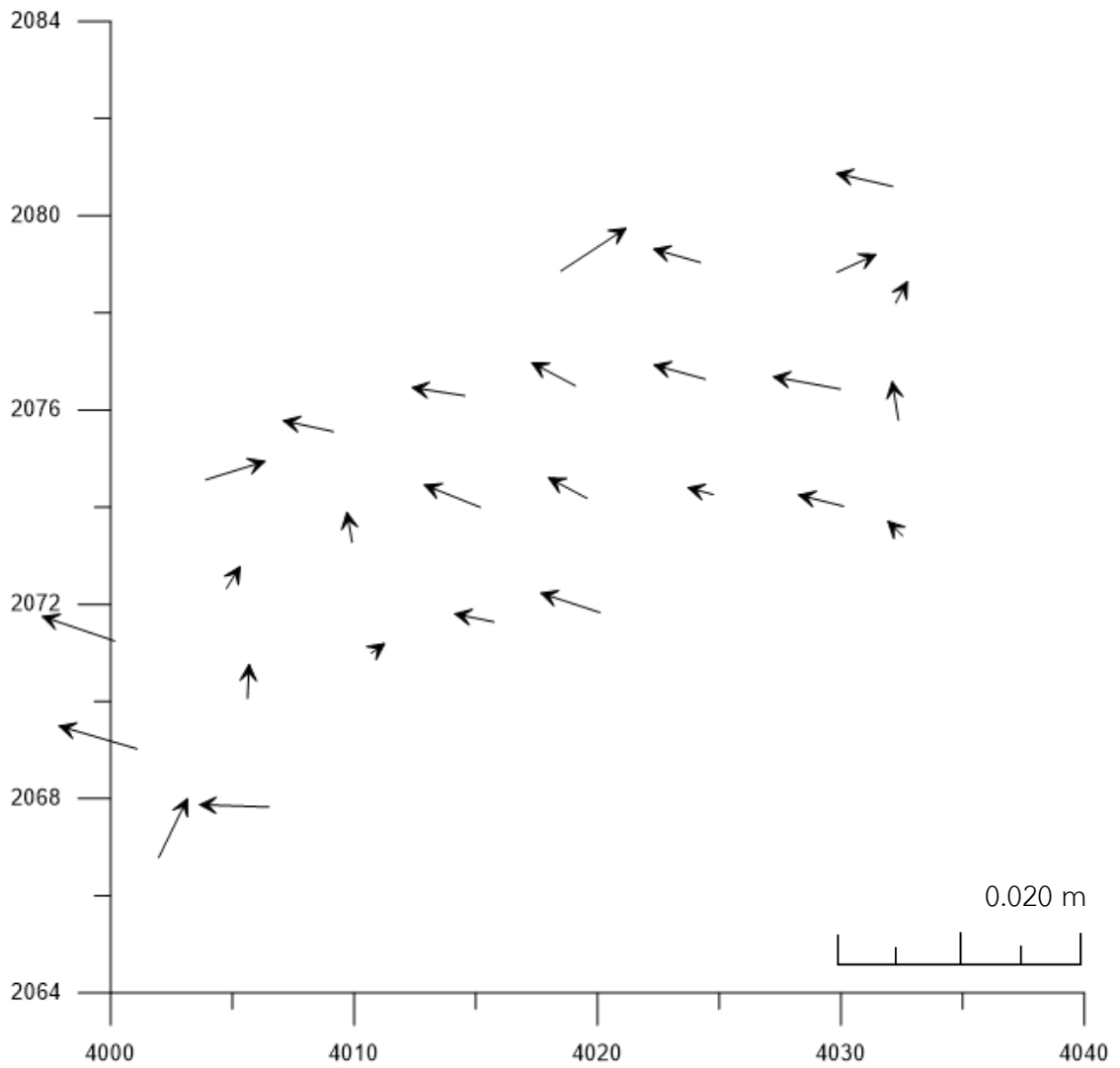


รูปที่ 8 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว  
ที่ระยะการสแกน 90 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



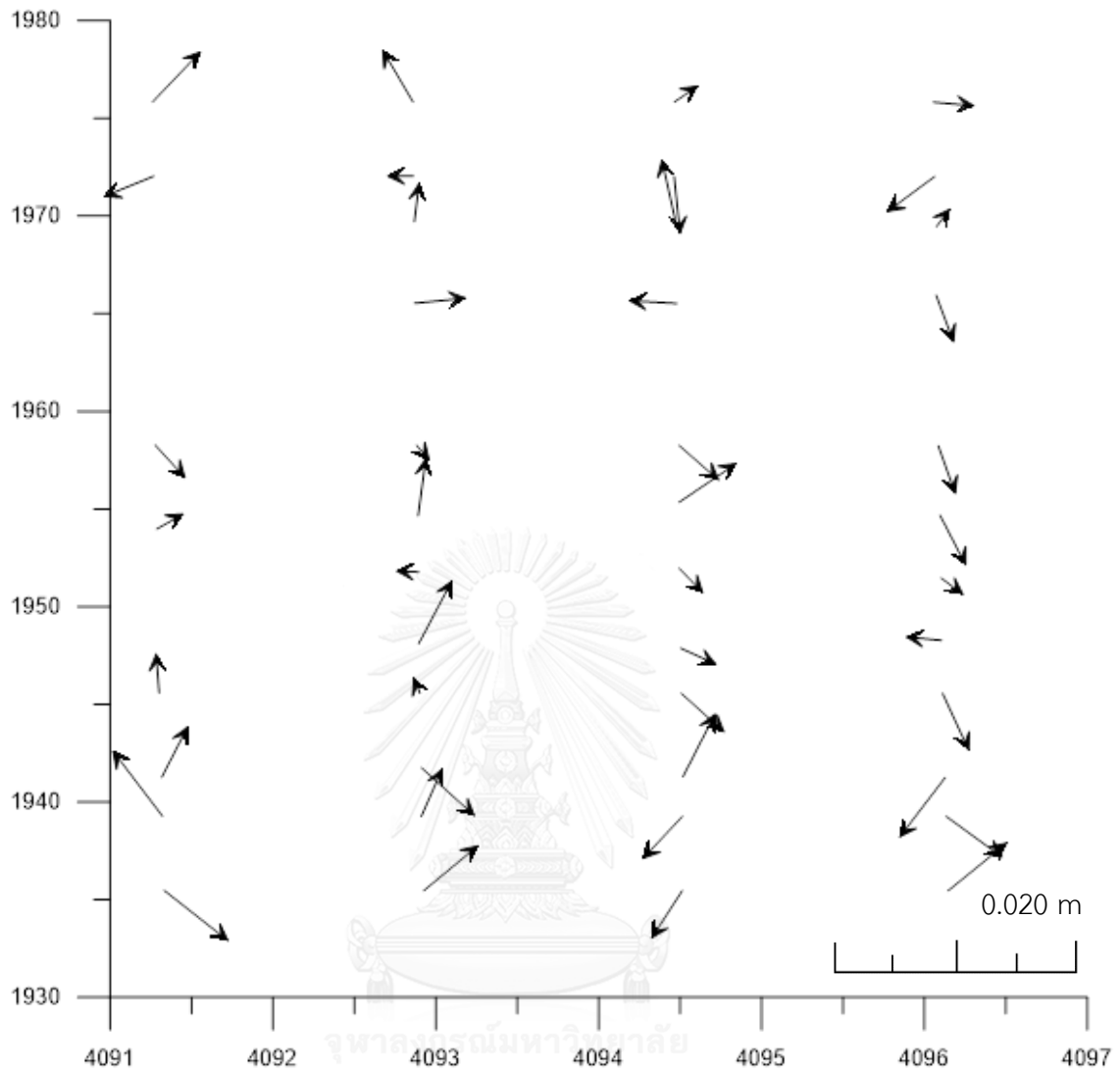
รูปที่ 9 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานีเดียว

ที่ระยะการสแกน 120 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

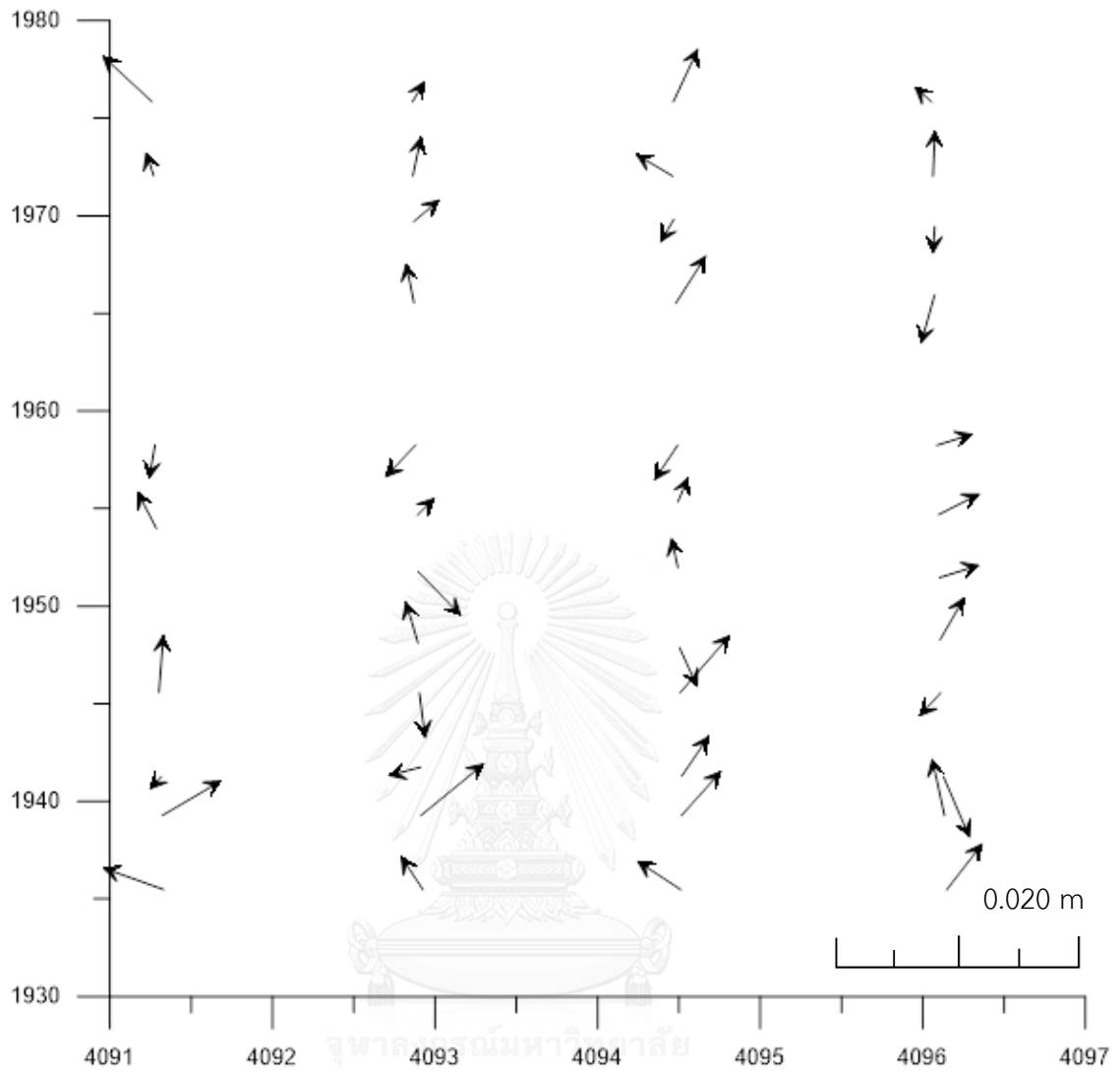


รูปที่ 10 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสถานี

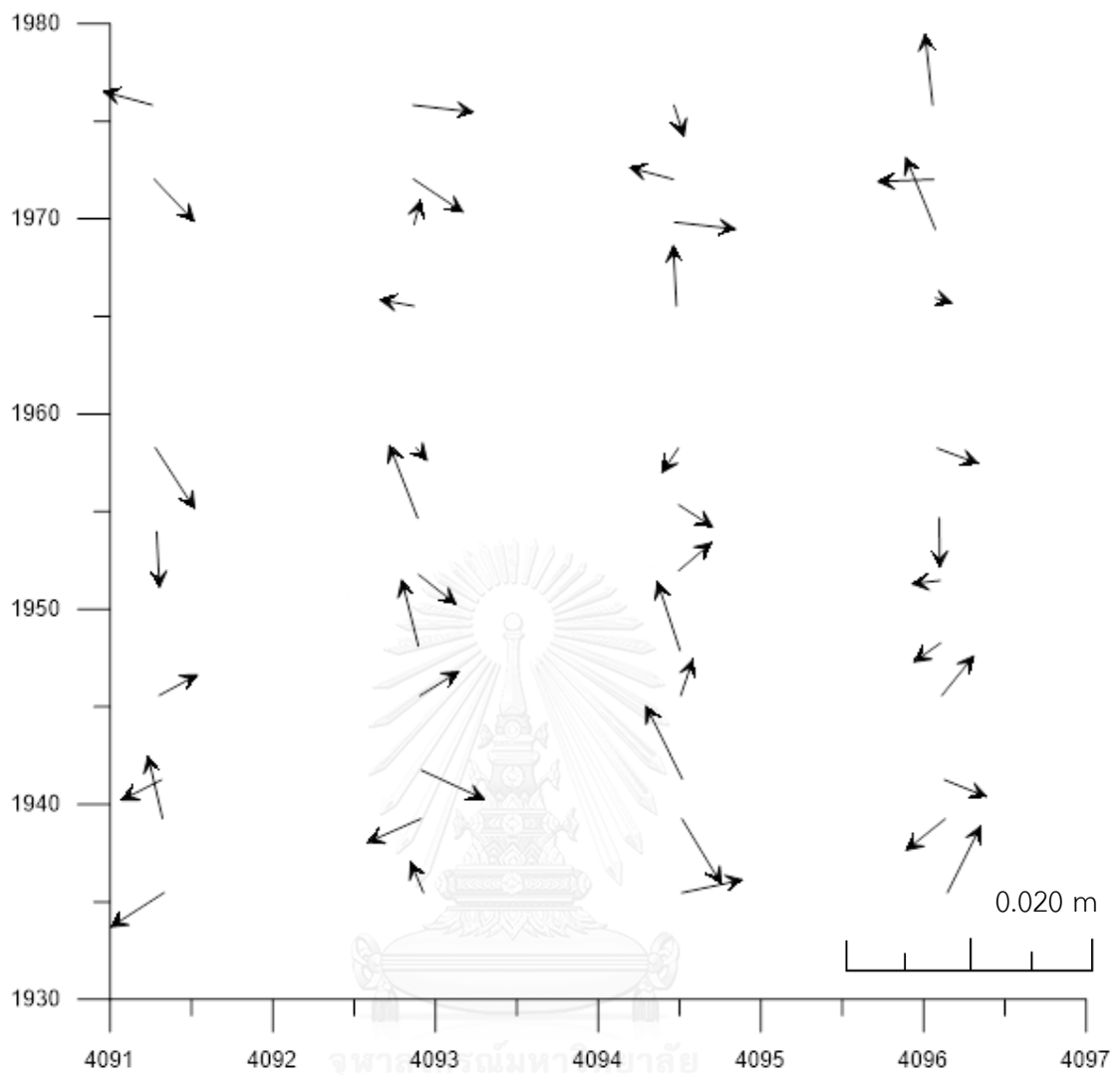
เดี่ยวที่ระยะการสแกน 150 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



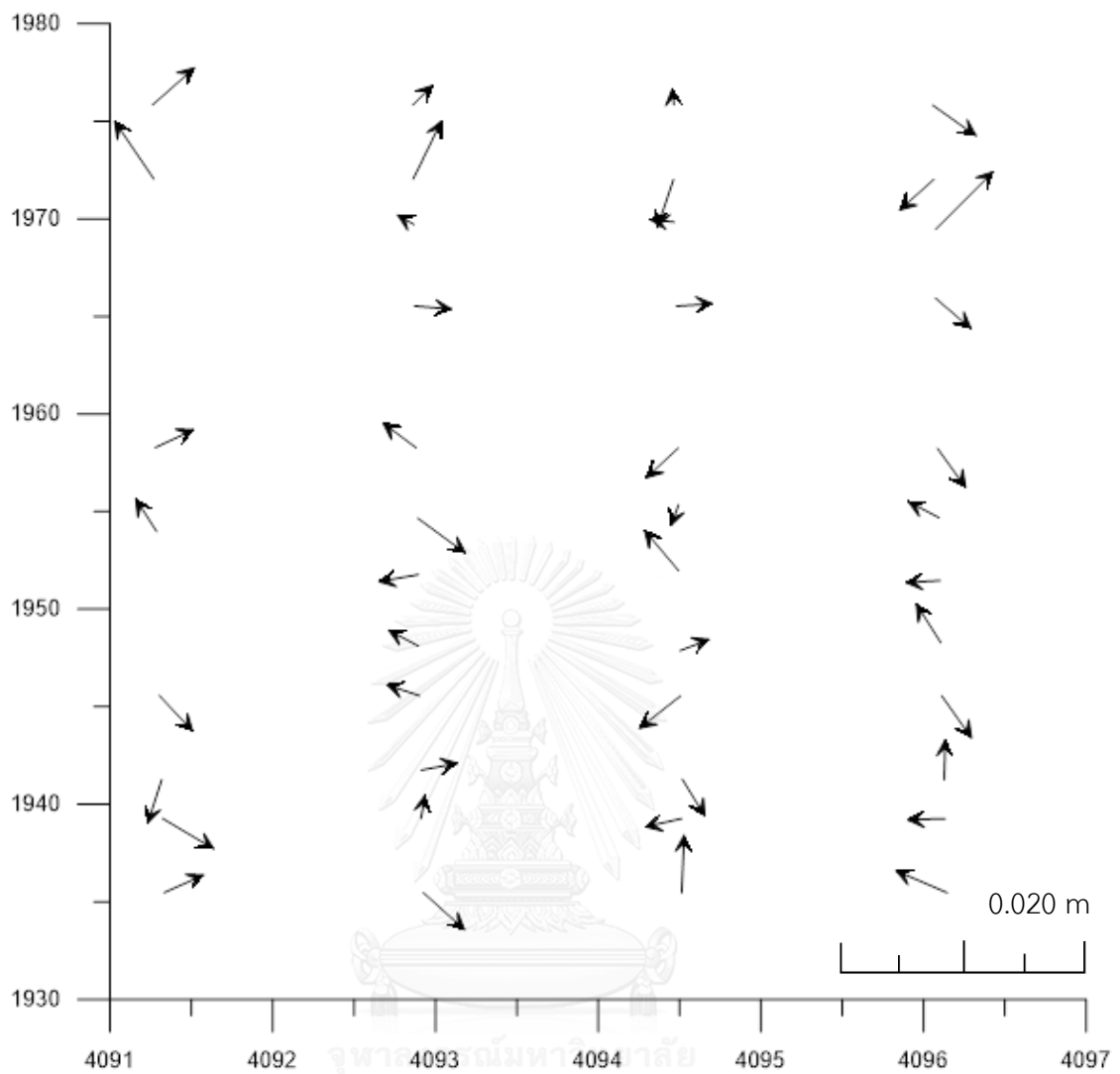
รูปที่ 11 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี  
ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 5 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



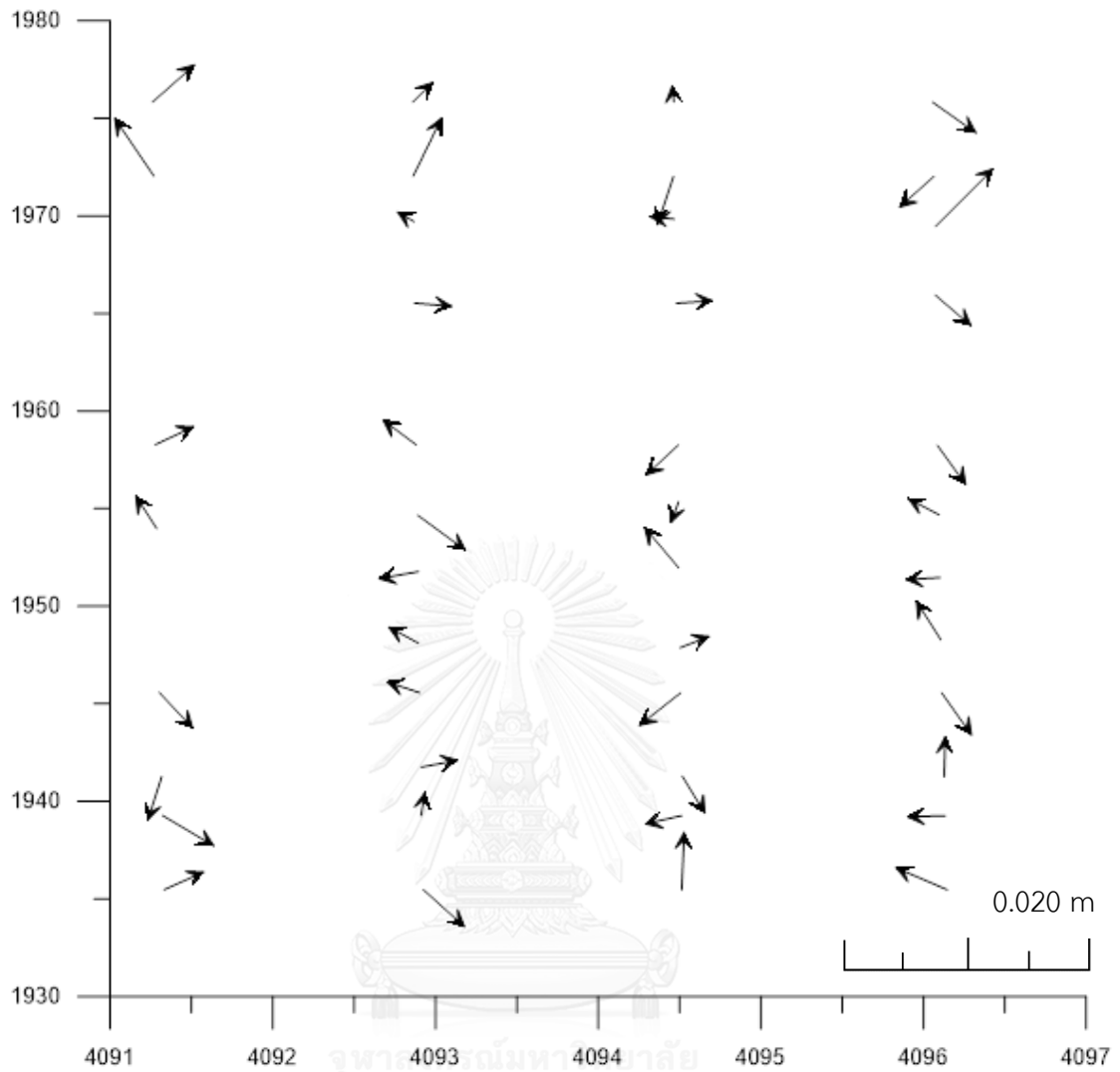
รูปที่ 12 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 10 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



รูปที่ 13 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 15 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

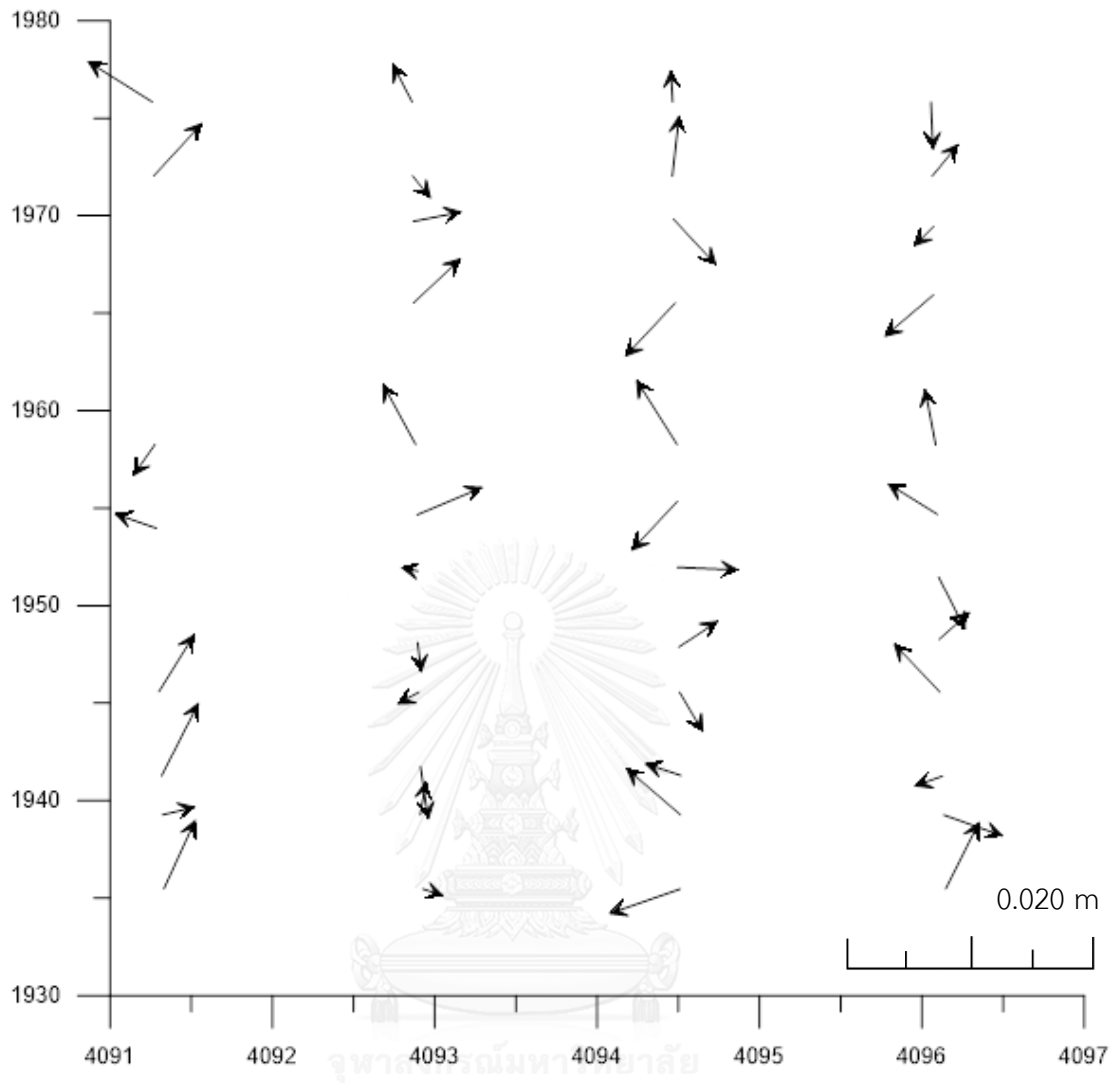


รูปที่ 14 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 20 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

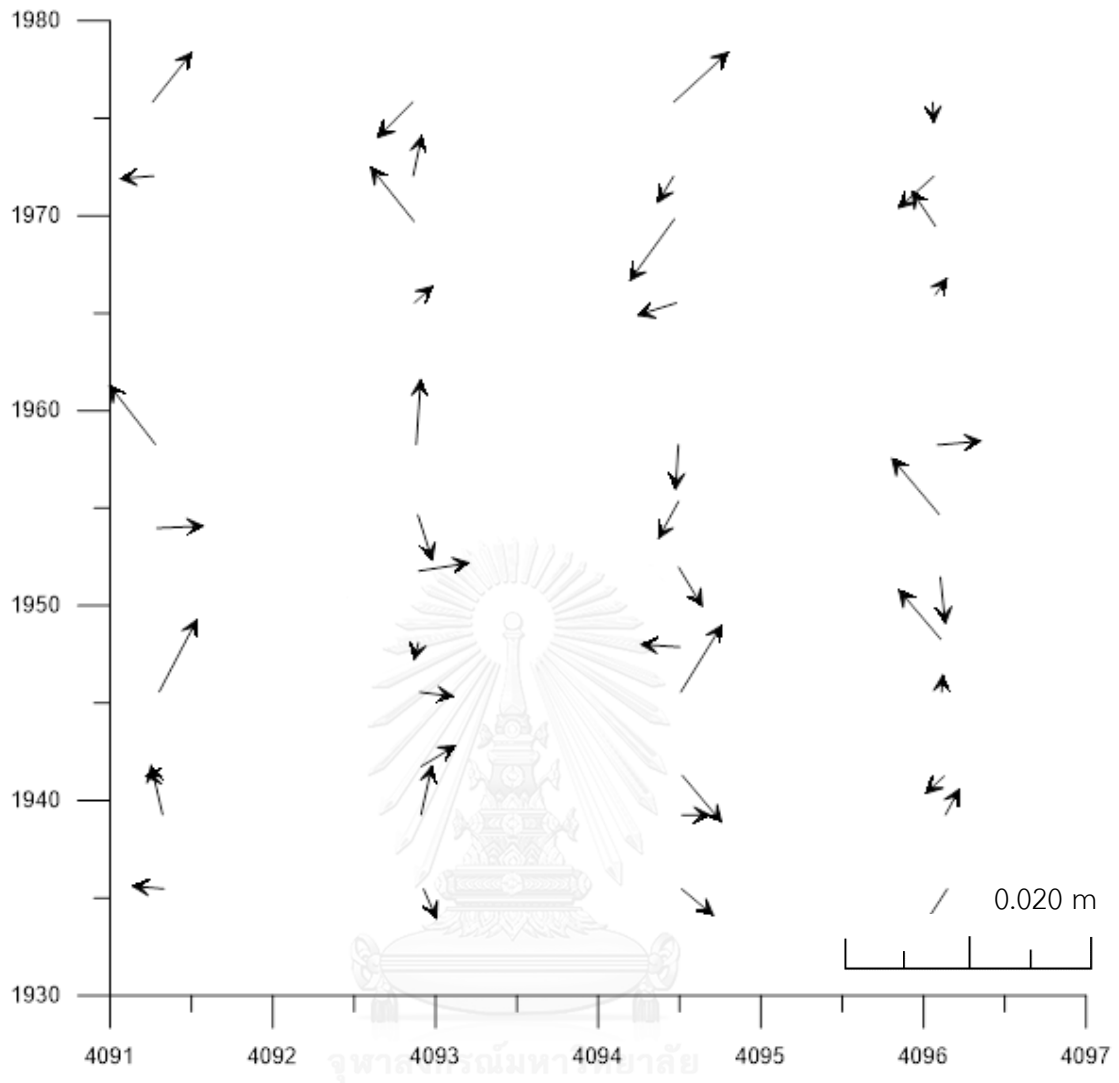


รูปที่ 15 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 25 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

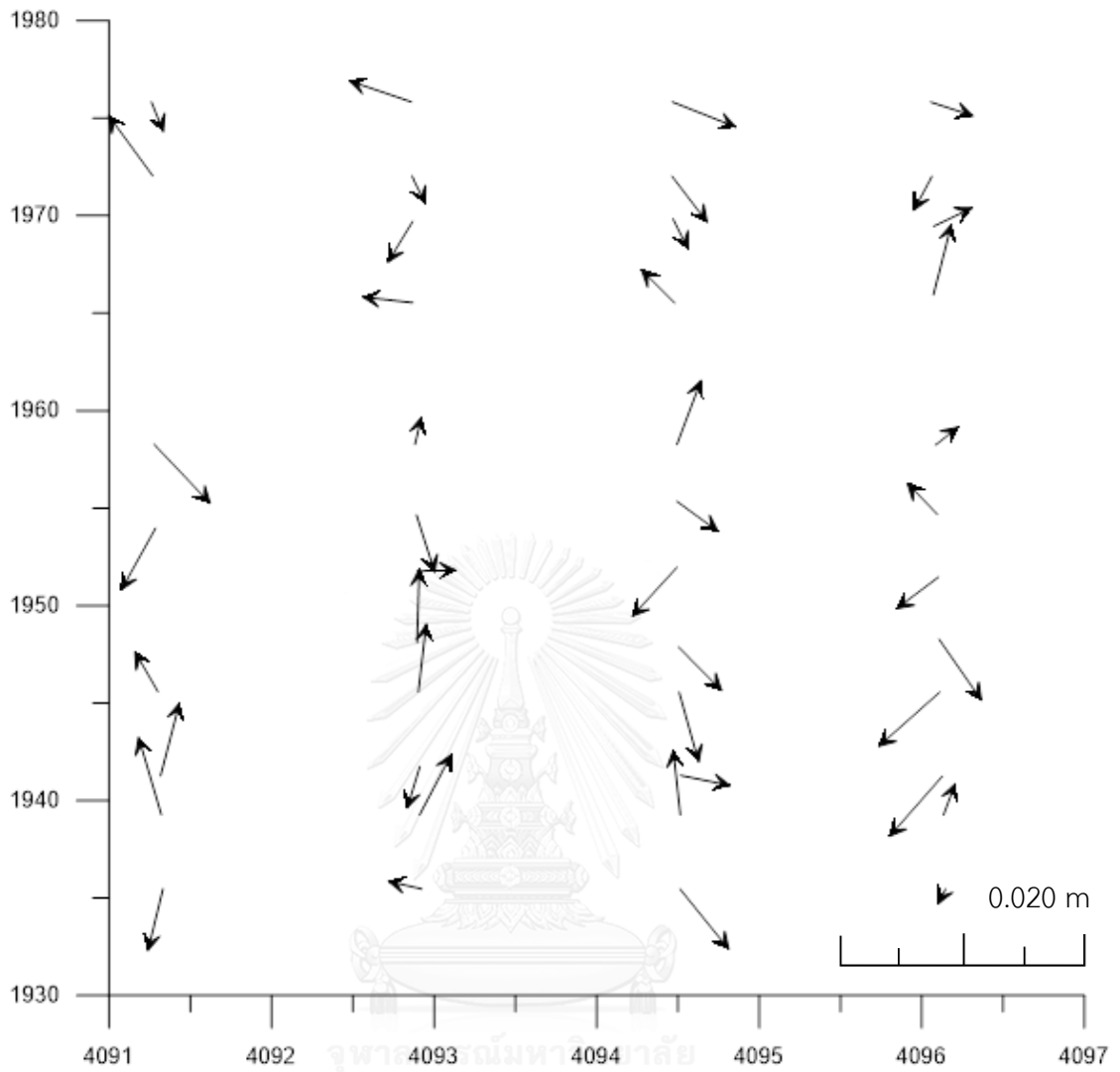




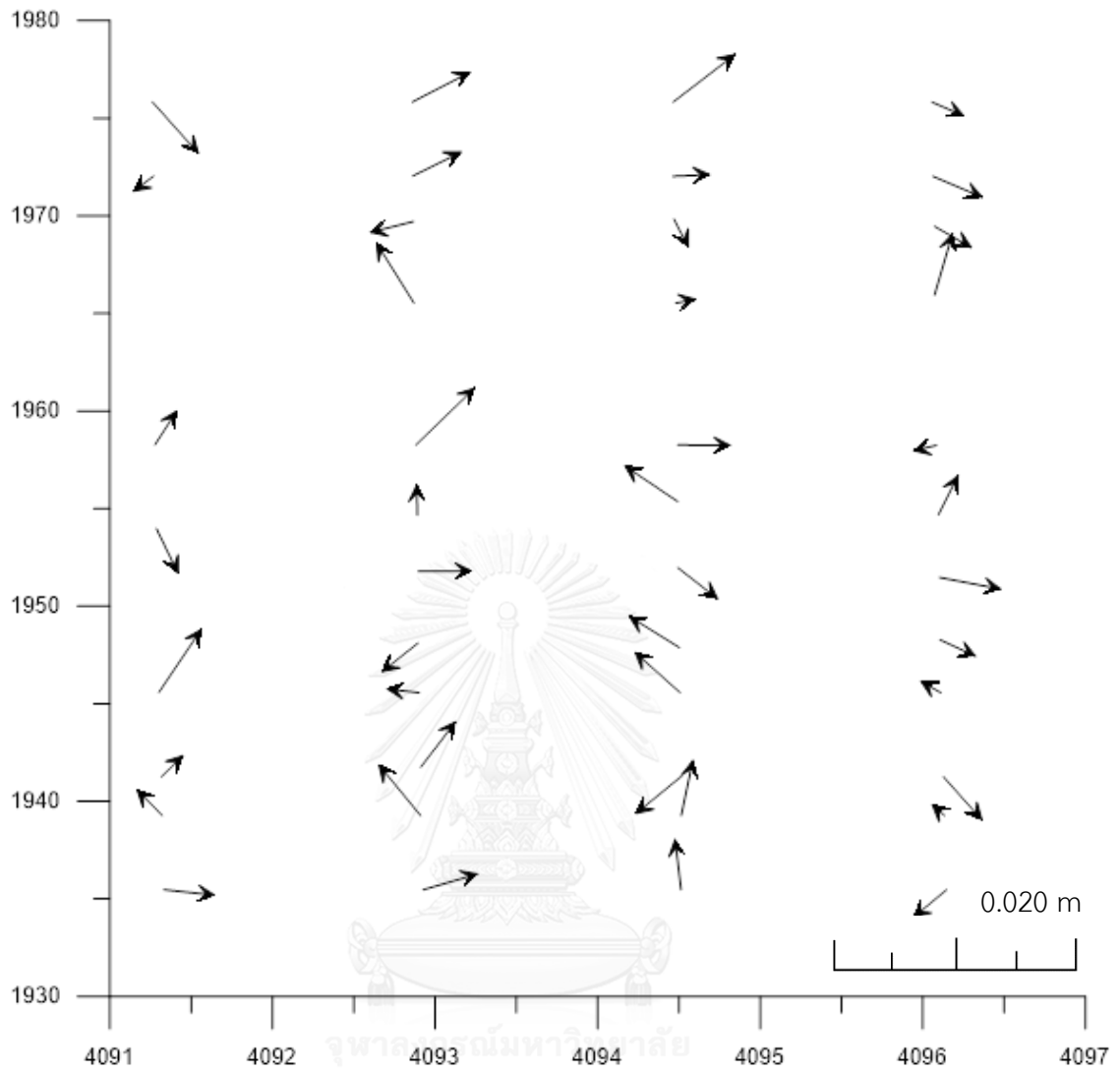
รูปที่ 16 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 5 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



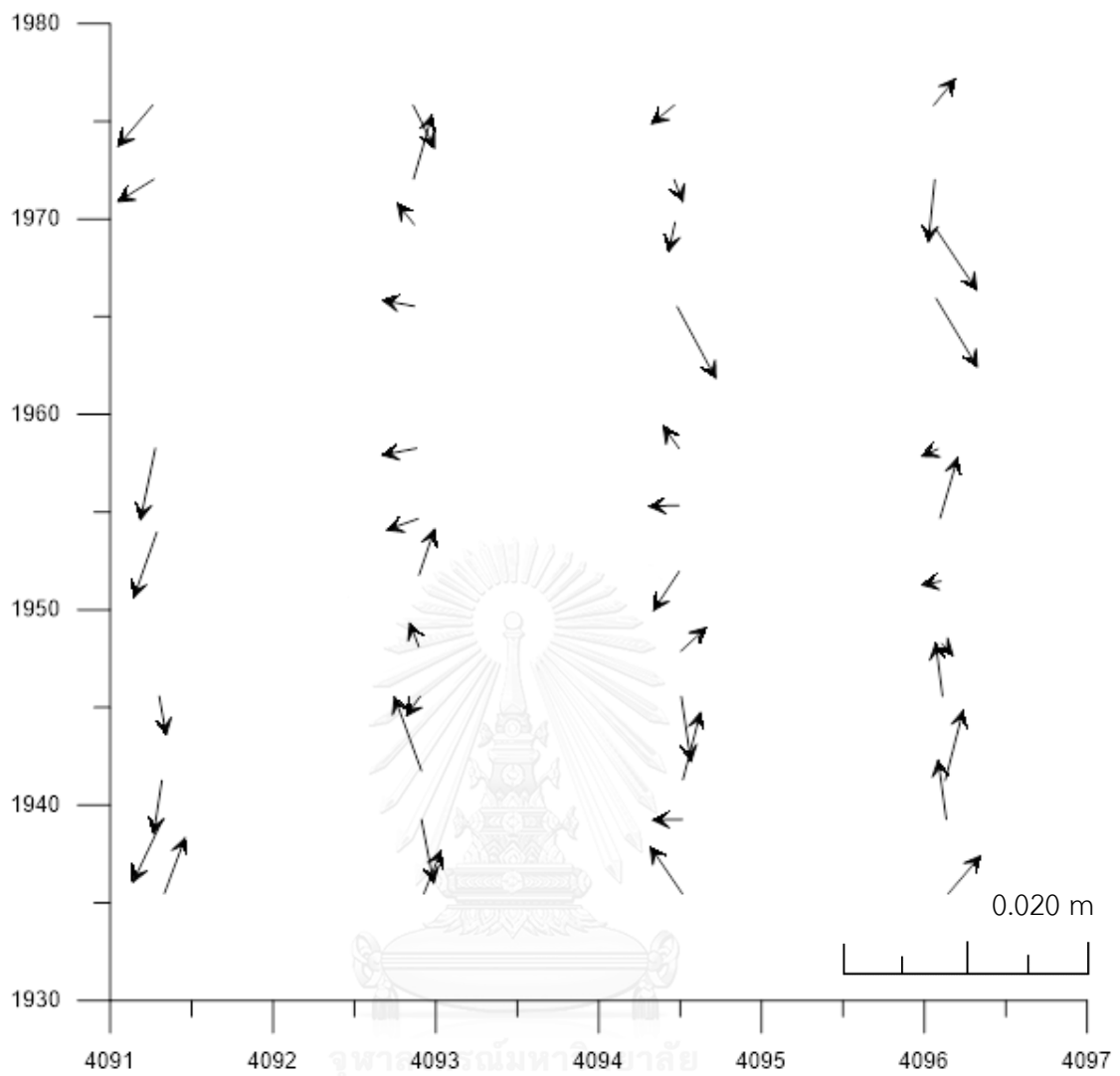
รูปที่ 17 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 10 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



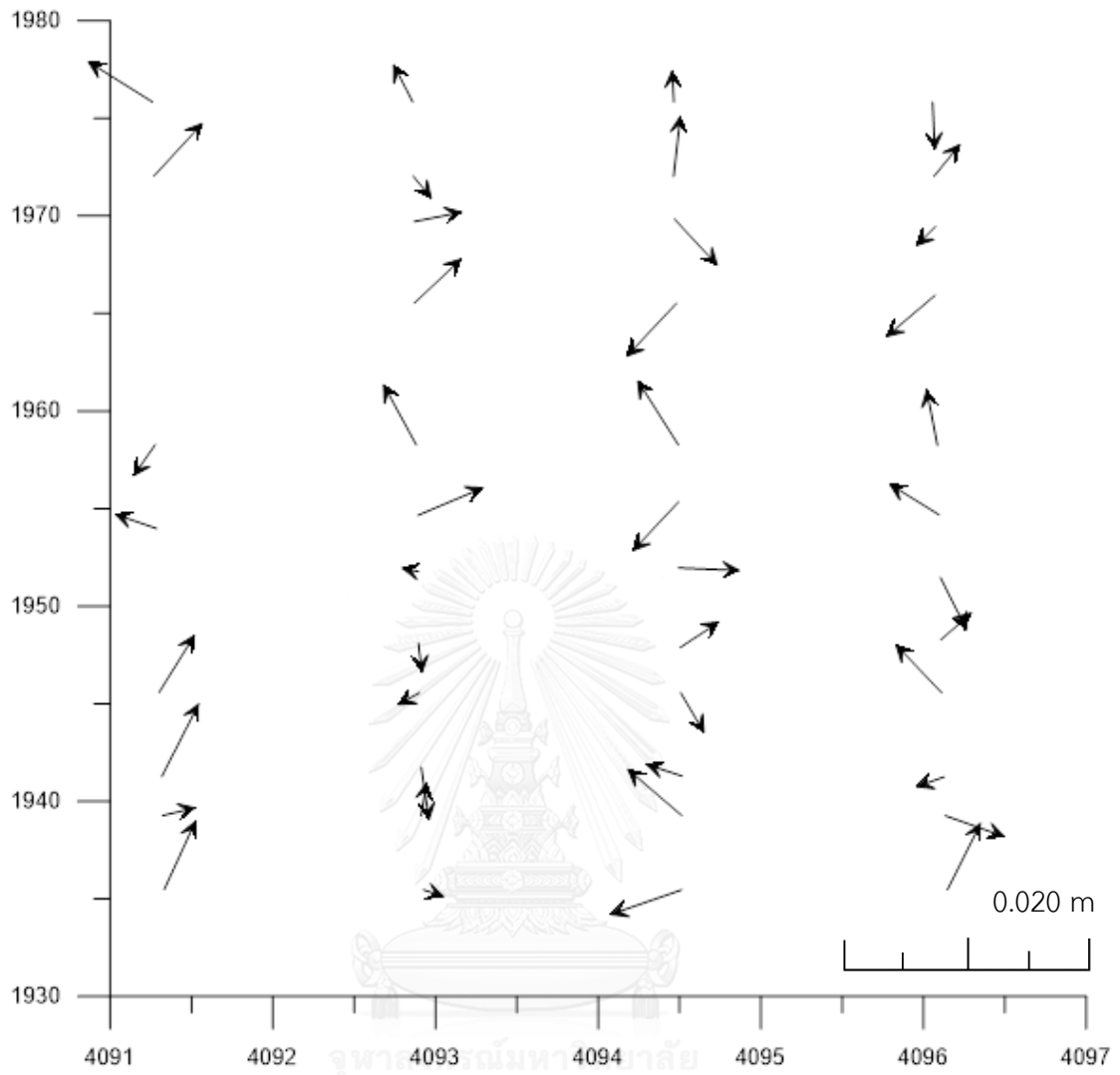
รูปที่ 18 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 15 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



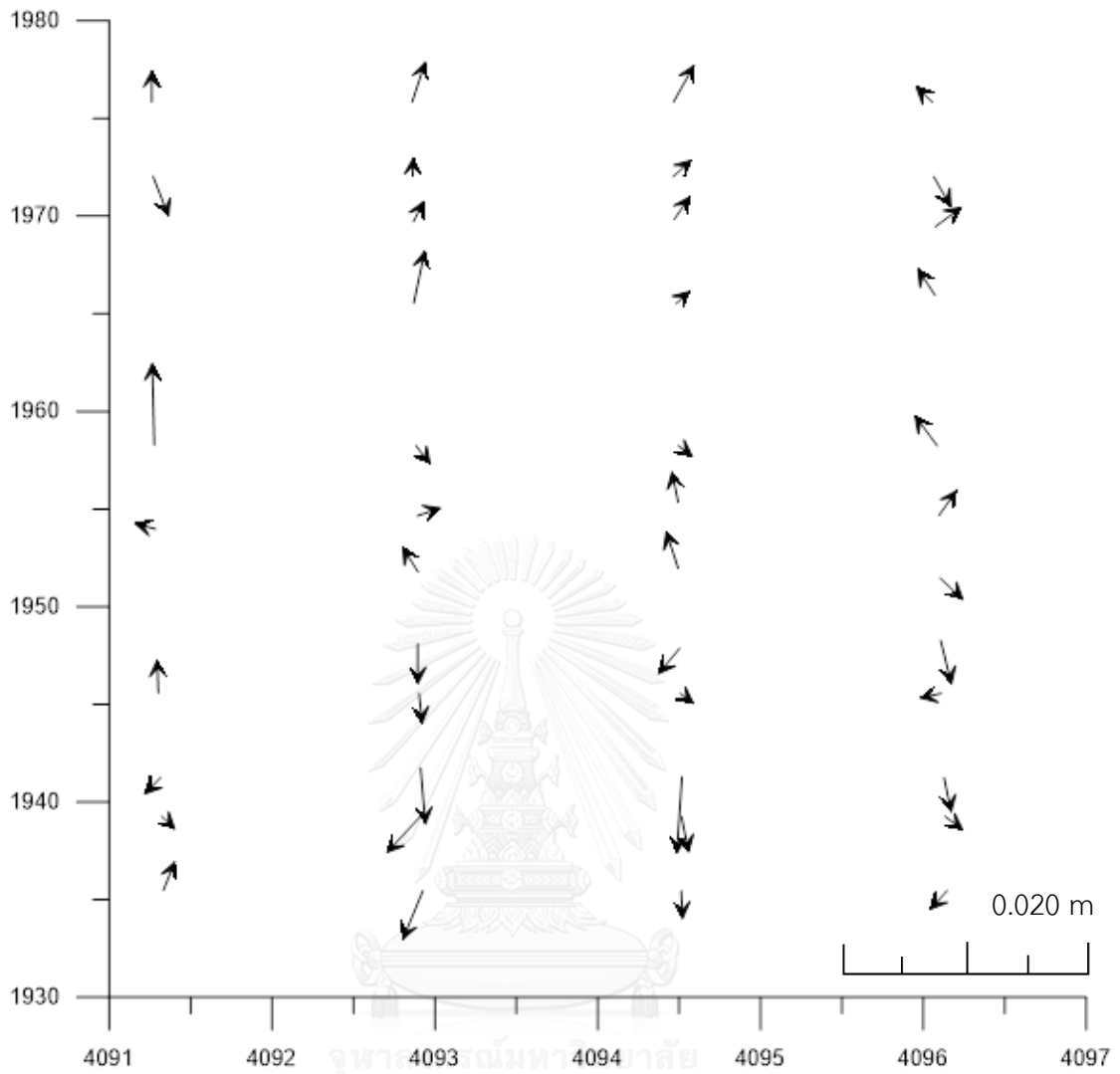
**รูปที่ 19** เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี  
ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 20 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



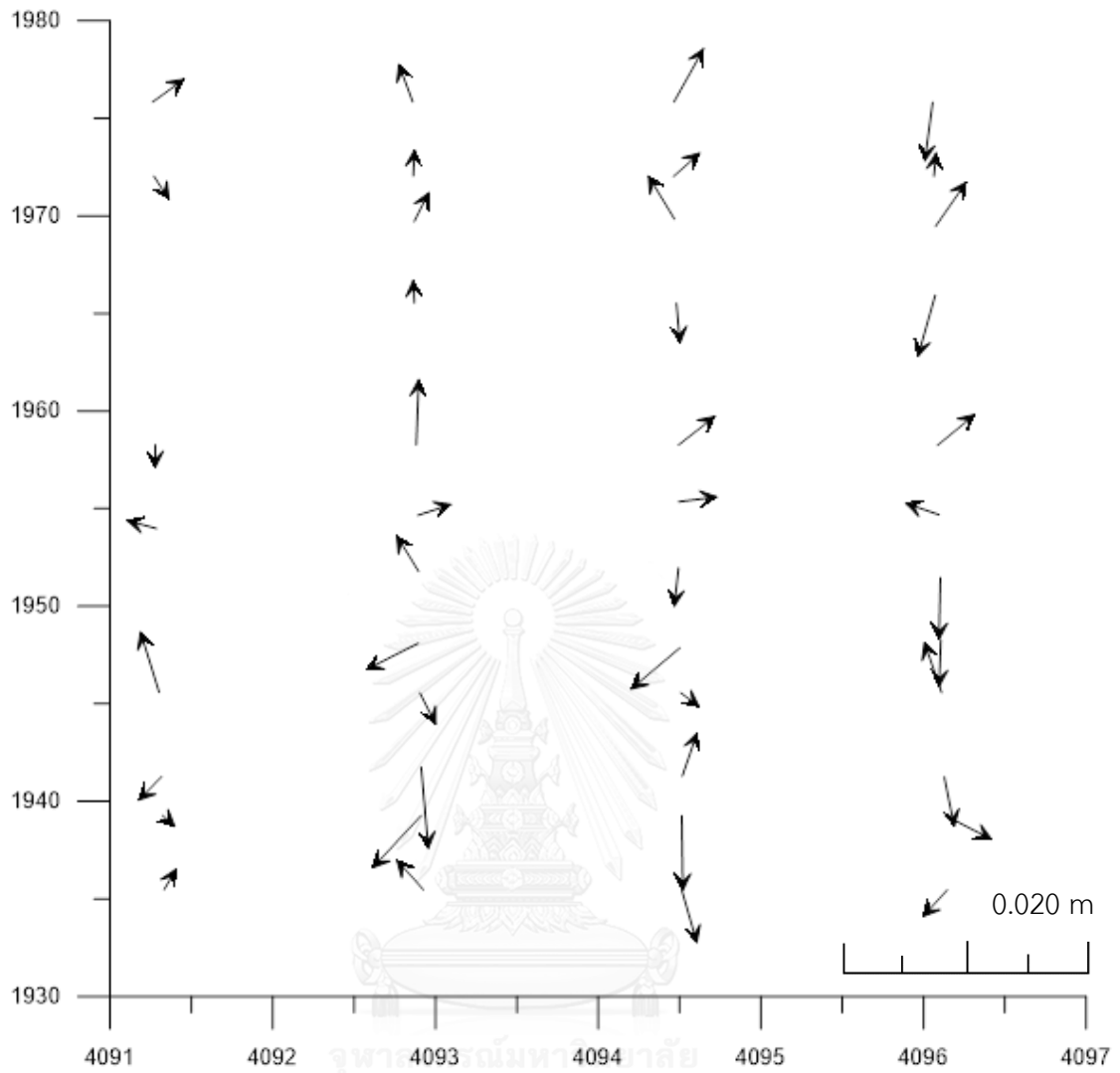
รูปที่ 20 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 30 เมตร และมีระยะห่างสถานี 25 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



รูปที่ 21 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 5 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

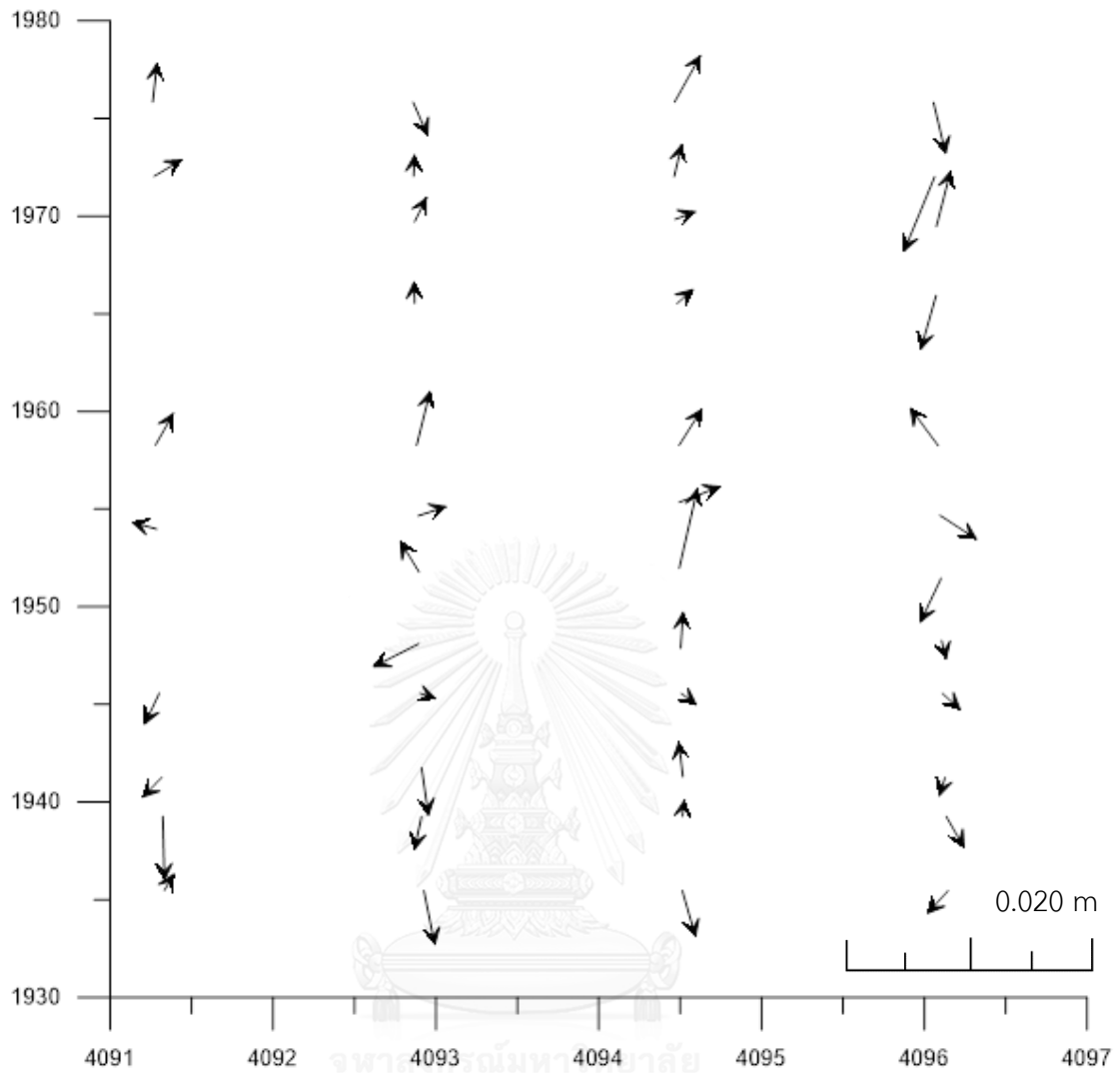


รูปที่ 22 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 10 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

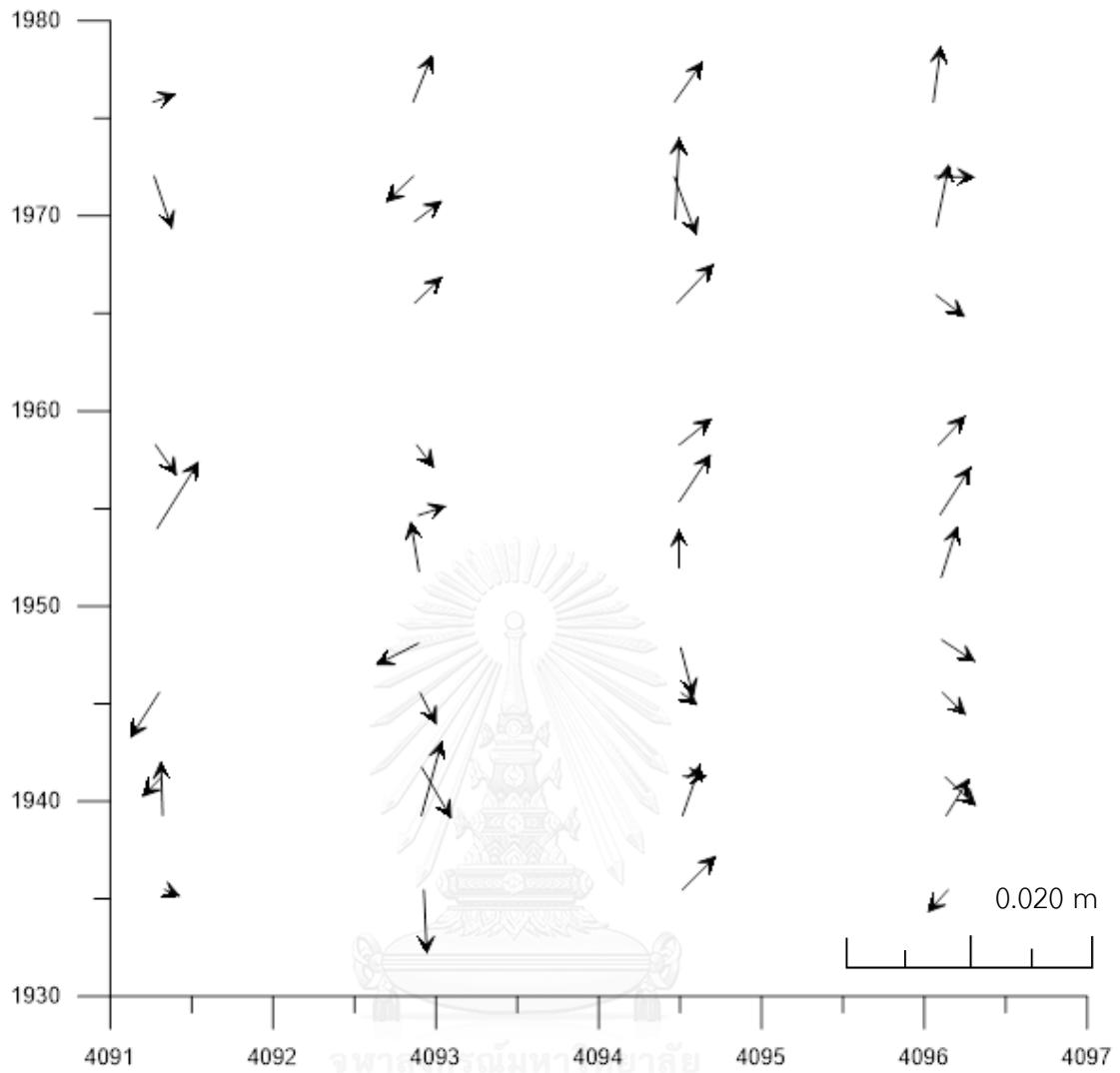


รูปที่ 23 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 15 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง

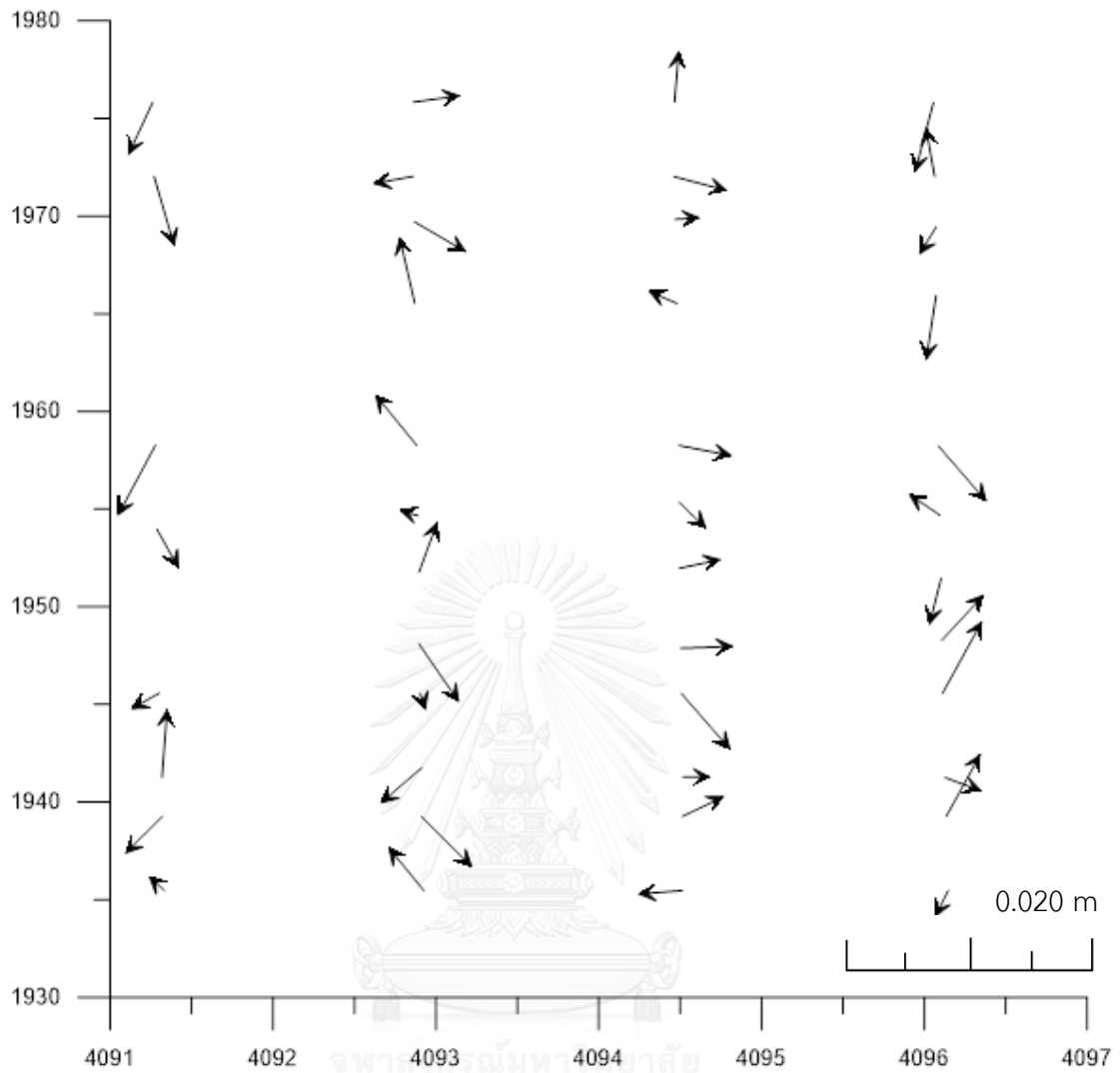




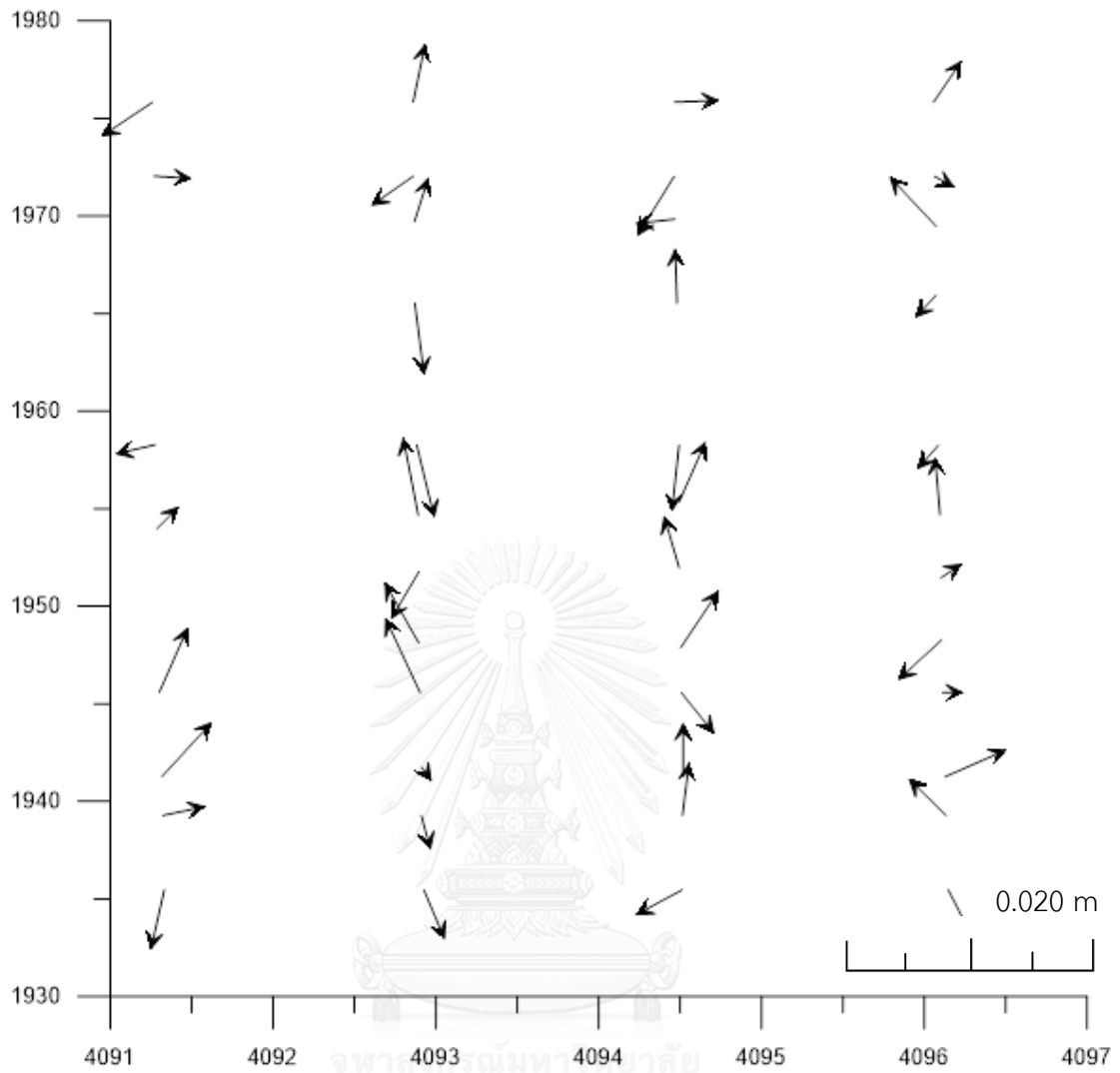
รูปที่ 24 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 20 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



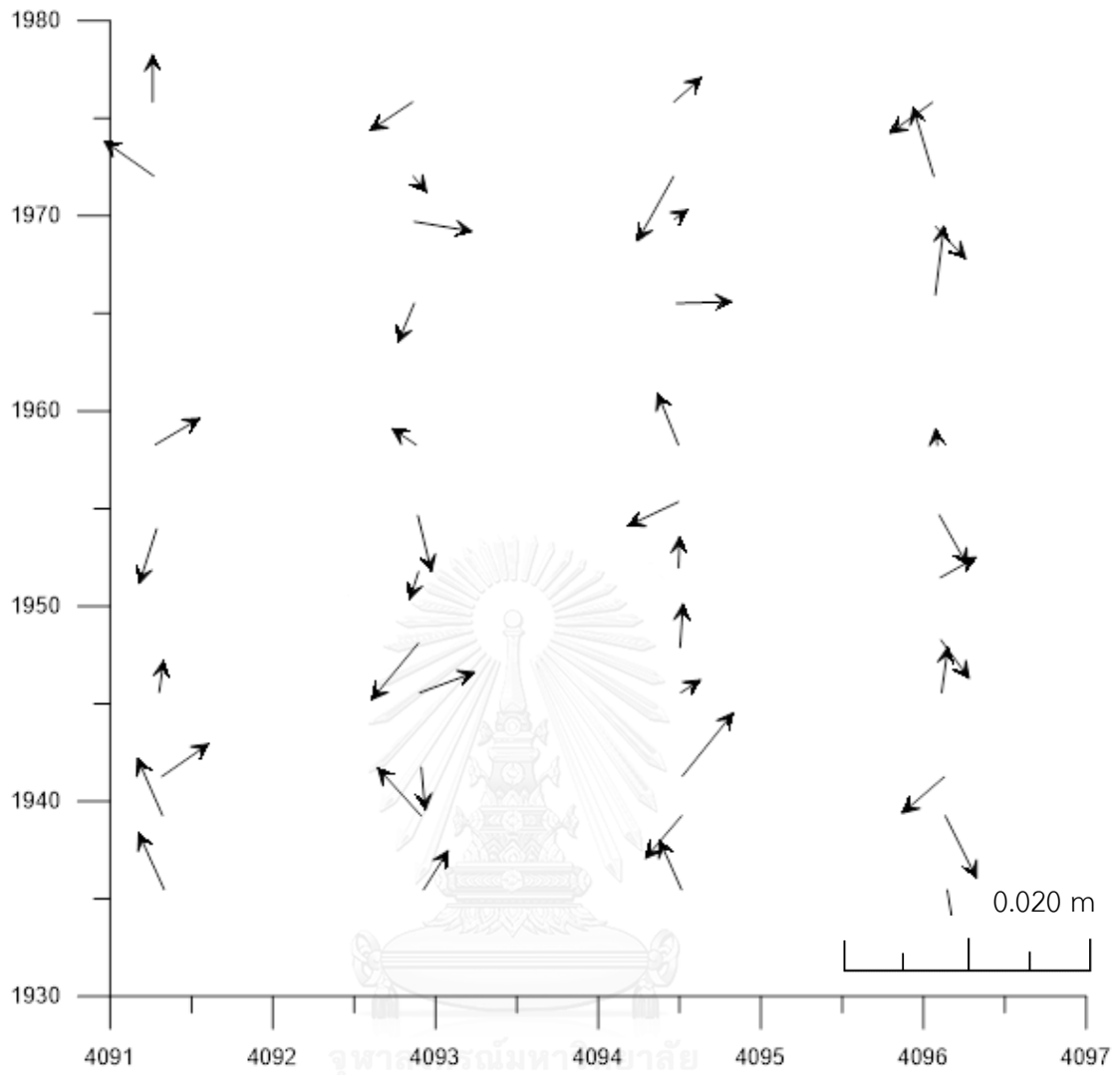
รูปที่ 25 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 25 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง



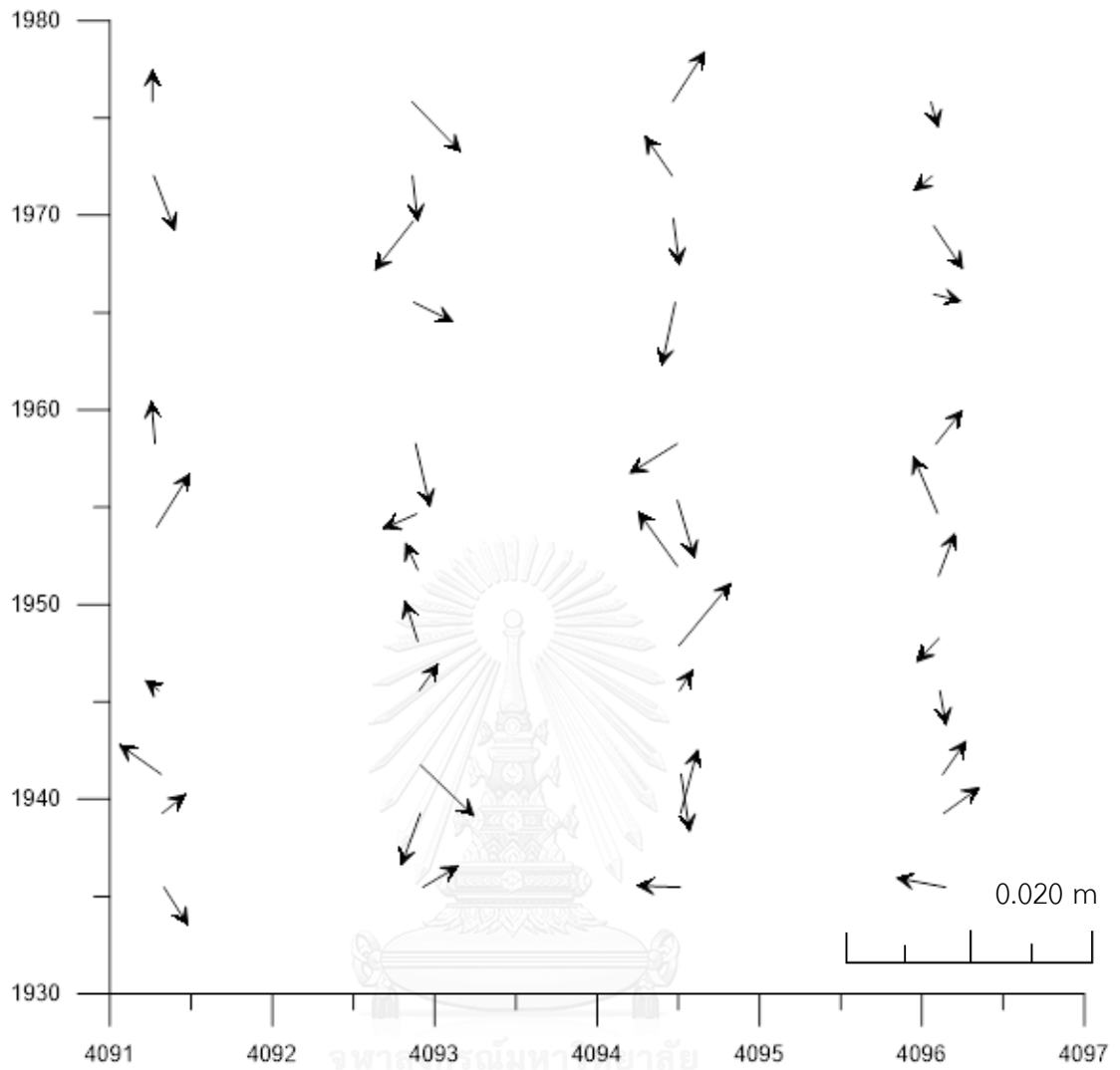
รูปที่ 26 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 5 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



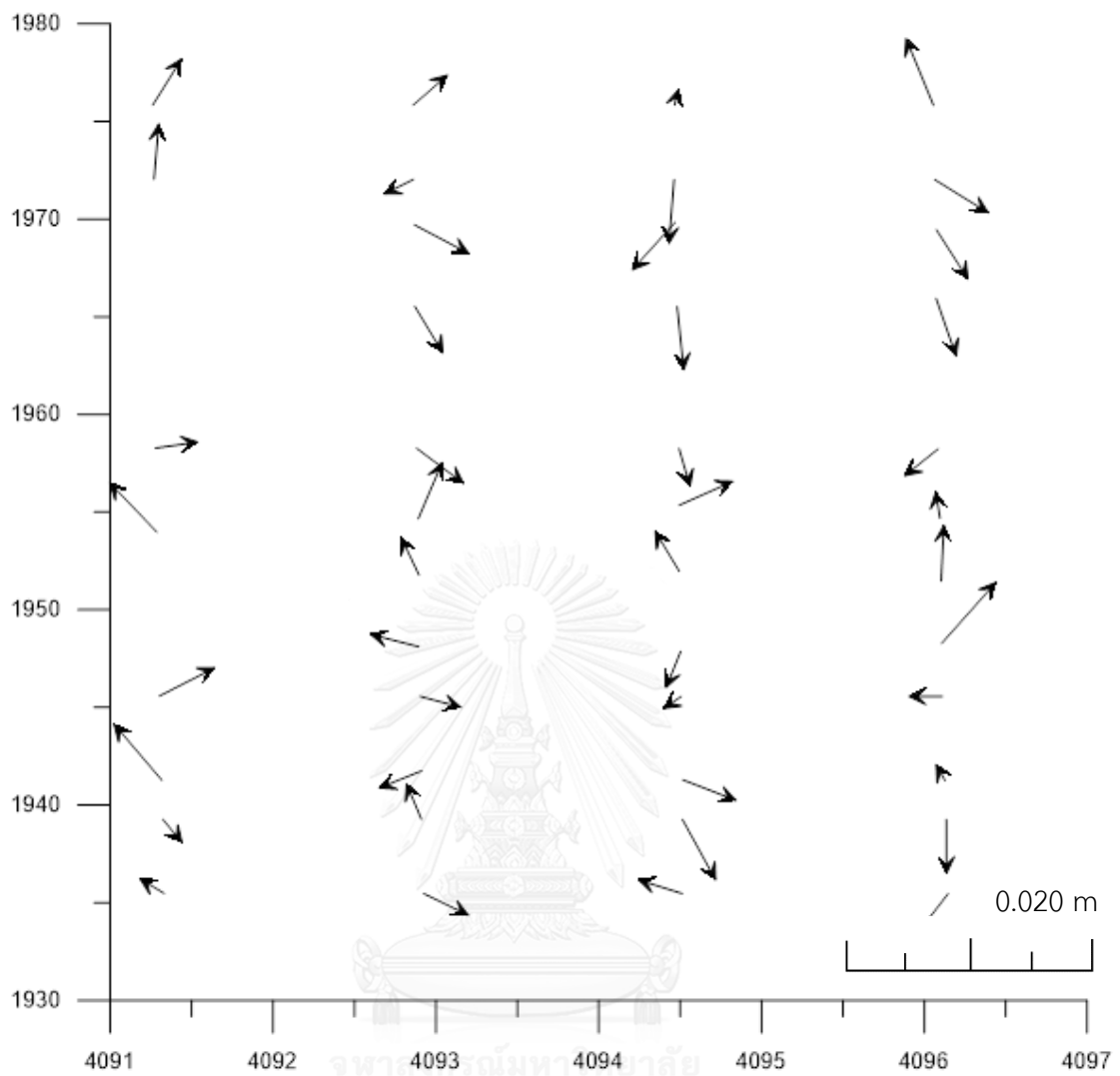
รูปที่ 27 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 10 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



รูปที่ 28 เวกเตอร์ค่ากลางเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 15 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



รูปที่ 29 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 20 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม



รูปที่ 30 เวกเตอร์ค่าคลาดเคลื่อนบนระนาบ X-Y ของการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสองสถานี ที่ระยะการสแกน 90 เมตร และมีระยะห่างสถานี 25 เมตร เมื่อรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางอ้อม

ภาคผนวก จ ตารางค่าสถิติ

ตารางที่ 1 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเพฟ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 90

v2	v1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3.98635	49.5000	5.35932	5.58330	57.2401	5.82044	5.89060	5.94390	5.98576
2	8.5263	9.0000	9.1618	9.2434	9.2926	9.3255	9.3491	9.3668	9.3805
3	5.5383	5.4624	5.3908	5.3426	5.3092	5.2847	5.2662	5.2517	5.2400
4	4.5448	4.3246	4.1909	4.1072	4.0506	4.0097	3.9790	3.9549	3.9357
5	4.0604	3.7797	3.6195	3.5202	3.4530	3.4045	3.3679	3.3393	3.3163
6	3.7759	3.4633	3.2888	3.1808	3.1075	3.0546	3.0145	2.9830	2.9577
7	3.5894	3.2574	3.0741	2.9605	2.8833	2.8274	2.7849	2.7516	2.7247
8	3.4579	3.1131	2.9238	2.8064	2.7264	2.6683	2.6241	2.5893	2.5612
9	3.3603	3.0065	2.8129	2.6927	2.6106	2.5509	2.5053	2.4694	2.4403
10	3.2850	2.9245	2.7277	2.6053	2.5216	2.4606	2.4140	2.3772	2.3473
11	3.2252	2.8595	2.6602	2.5362	2.4512	2.3891	2.3416	2.3040	2.2735
12	3.1765	2.8068	2.6055	2.4801	2.3940	2.3310	2.2828	2.2446	2.2135
13	3.1362	2.7632	2.5603	2.4337	2.3467	2.2830	2.2341	2.1953	2.1638
14	3.1022	2.7265	2.5222	2.3947	2.3069	2.2426	2.1931	2.1539	2.1220
15	3.0732	2.6952	2.4898	2.3614	2.2730	2.2081	2.1582	2.1185	2.0862
16	3.0481	2.6682	2.4618	2.3327	2.2438	2.1783	2.1280	2.0880	2.0553
17	3.0262	2.6446	2.4374	2.3077	2.2183	2.1524	2.1017	2.0613	2.0284
18	3.0070	2.6239	2.4160	2.2858	2.1958	2.1296	2.0785	2.0379	2.0047
19	2.9899	2.6056	2.3970	2.2663	2.1760	2.1094	2.0580	2.0171	1.9836
20	2.9747	2.5893	2.3801	2.2489	2.1582	2.0913	2.0397	1.9985	1.9649
21	2.9610	2.5746	2.3649	2.2333	2.1423	2.0751	2.0233	1.9819	1.9480
22	2.9486	2.5613	2.3512	2.2193	2.1279	2.0605	2.0084	1.9668	1.9327
23	2.9374	2.5493	2.3387	2.2065	2.1149	2.0472	1.9949	1.9531	1.9189
24	2.9271	2.5383	2.3274	2.1949	2.1030	2.0351	1.9826	1.9407	1.9063
25	2.9177	2.5283	2.3170	2.1842	2.0922	2.0241	1.9714	1.9292	1.8947
26	2.9091	2.5191	2.3075	2.1745	2.0822	2.0139	1.9610	1.9188	1.8841
27	2.9012	2.5106	2.2987	2.1655	2.0730	2.0045	1.9515	1.9091	1.8743
28	2.8938	2.5028	2.2906	2.1571	2.0645	1.9959	1.9427	1.9001	1.8652
29	2.8870	2.4955	2.2831	2.1494	2.0566	1.9878	1.9345	1.8918	1.8568
30	2.8807	2.4887	2.2761	2.1422	2.0492	1.9803	1.9269	1.8841	1.8490
40	2.8354	2.4404	2.2261	2.0910	1.9968	1.9269	1.8725	1.8289	1.7929
60	2.7911	2.3933	2.1774	2.0410	1.9457	1.8747	1.8194	1.7748	1.7380
120	2.7478	2.3473	2.1300	1.9923	1.8959	1.8238	1.7675	1.7220	1.6842
∞	2.7055	2.3026	2.0838	1.9449	1.8473	1.7741	1.7167	1.6702	1.6315



ตารางที่ 1 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 90 (ต่อ)

v2	v1									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	60.1950	60.7052	61.2203	61.7403	62.0020	62.2650	62.5291	62.7943	63.0606	63.3281
2	9.3916	9.4081	9.4247	9.4413	9.4496	9.4579	9.4662	9.4746	9.4829	9.4912
3	5.2304	5.2156	5.2003	5.1845	5.1764	5.1681	5.1597	5.1512	5.1425	5.1337
4	3.9199	3.8955	3.8704	3.8443	3.8310	3.8174	3.8036	3.7896	3.7753	3.7607
5	3.2974	3.2682	3.2380	3.2067	3.1905	3.1741	3.1573	3.1402	3.1228	3.1050
6	2.9369	2.9047	2.8712	2.8363	2.8183	2.8000	2.7812	2.7620	2.7423	2.7222
7	2.7025	2.6681	2.6322	2.5947	2.5753	2.5555	2.5351	2.5142	2.4928	2.4708
8	2.5380	2.5020	2.4642	2.4246	2.4041	2.3830	2.3614	2.3391	2.3162	2.2926
9	2.4163	2.3789	2.3396	2.2983	2.2768	2.2547	2.2320	2.2085	2.1843	2.1592
10	2.3226	2.2841	2.2435	2.2007	2.1784	2.1554	2.1317	2.1072	2.0818	2.0554
11	2.2482	2.2087	2.1671	2.1230	2.1000	2.0762	2.0516	2.0261	1.9997	1.9721
12	2.1878	2.1474	2.1049	2.0597	2.0360	2.0115	1.9861	1.9597	1.9323	1.9036
13	2.1376	2.0966	2.0532	2.0070	1.9827	1.9576	1.9315	1.9043	1.8759	1.8462
14	2.0954	2.0537	2.0095	1.9625	1.9377	1.9119	1.8852	1.8572	1.8280	1.7973
15	2.0593	2.0171	1.9722	1.9243	1.8990	1.8728	1.8454	1.8168	1.7867	1.7551
16	2.0281	1.9854	1.9399	1.8913	1.8656	1.8388	1.8108	1.7816	1.7507	1.7182
17	2.0009	1.9577	1.9117	1.8624	1.8362	1.8090	1.7805	1.7506	1.7191	1.6856
18	1.9770	1.9333	1.8868	1.8368	1.8103	1.7827	1.7537	1.7232	1.6910	1.6567
19	1.9557	1.9117	1.8647	1.8142	1.7873	1.7592	1.7298	1.6988	1.6659	1.6308
20	1.9367	1.8924	1.8449	1.7938	1.7667	1.7382	1.7083	1.6768	1.6433	1.6074
21	1.9197	1.8750	1.8271	1.7756	1.7481	1.7193	1.6890	1.6569	1.6228	1.5862
22	1.9043	1.8593	1.8111	1.7590	1.7312	1.7021	1.6714	1.6389	1.6041	1.5668
23	1.8903	1.8450	1.7964	1.7439	1.7159	1.6864	1.6554	1.6224	1.5871	1.5490
24	1.8775	1.8319	1.7831	1.7302	1.7019	1.6721	1.6407	1.6073	1.5715	1.5327
25	1.8658	1.8200	1.7708	1.7175	1.6890	1.6589	1.6272	1.5934	1.5570	1.5176
26	1.8550	1.8090	1.7596	1.7059	1.6771	1.6468	1.6147	1.5805	1.5437	1.5036
27	1.8451	1.7989	1.7492	1.6951	1.6662	1.6356	1.6032	1.5686	1.5313	1.4906
28	1.8359	1.7895	1.7395	1.6852	1.6560	1.6252	1.5925	1.5575	1.5198	1.4784
29	1.8274	1.7808	1.7306	1.6759	1.6465	1.6155	1.5825	1.5472	1.5090	1.4670
30	1.8195	1.7727	1.7223	1.6673	1.6377	1.6065	1.5732	1.5376	1.4989	1.4564
40	1.7627	1.7146	1.6624	1.6052	1.5741	1.5411	1.5056	1.4672	1.4248	1.3769
60	1.7070	1.6574	1.6034	1.5435	1.5107	1.4755	1.4373	1.3952	1.3476	1.2915
120	1.6524	1.6012	1.5450	1.4821	1.4472	1.4094	1.3676	1.3203	1.2646	1.1926
$\infty$	1.5987	1.5458	1.4871	1.4206	1.3832	1.3419	1.2951	1.2400	1.1686	1.0000

ตารางที่ 2 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเพฟ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

v2	v1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4476	199.5000	215.7074	224.5832	230.1619	233.9860	236.7684	2388.827	240.5433
2	18.5128	19.0000	19.1643	19.2468	19.2964	19.3295	19.3532	19.3710	19.3848
3	10.1280	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	5.9988
5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799

ตารางที่ 2 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเพฟ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 (ต่อ)

v2	v1									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.8818	243.9060	245.9499	248.0131	249.0518	250.0952	251.1432	252.1957	253.2529	254.3144
2	19.3959	19.4125	19.4291	19.4458	19.4541	19.4624	19.4707	19.4791	19.4874	19.4957
3	8.7855	8.7446	8.7029	8.6602	8.6385	8.6166	8.5944	8.5720	8.5494	8.5264
4	5.9644	5.9117	5.8578	5.8025	5.7744	5.7459	5.7170	5.6877	5.6581	5.6281
5	4.7351	4.6777	4.6188	4.5581	4.5272	4.4957	4.4638	4.4314	4.3985	4.3650
6	4.0600	3.9999	3.9381	3.8742	3.8415	3.8082	3.7743	3.7398	3.7047	3.6689
7	3.6365	3.5747	3.5107	3.4445	3.4105	3.3758	3.3404	3.3043	3.2674	3.2298
8	3.3472	3.2839	3.2184	3.1503	3.1152	3.0794	3.0428	3.0053	2.9669	2.9276
9	3.1373	3.0729	3.0061	2.9365	2.9005	2.8637	2.8259	2.7872	2.7475	2.7067
10	2.9782	2.9130	2.8450	2.7740	2.7372	2.6996	2.6609	2.6211	2.5801	2.5379
11	2.8536	2.7876	2.7186	2.6464	2.6090	2.5705	2.5309	2.4901	2.4480	2.4045
12	2.7534	2.6866	2.6169	2.5436	2.5055	2.4663	2.4259	2.3842	2.3410	2.2962
13	2.6710	2.6037	2.5331	2.4589	2.4202	2.3803	2.3392	2.2966	2.2524	2.2064
14	2.6022	2.5342	2.4630	2.3879	2.3487	2.3082	2.2664	2.2229	2.1778	2.1307
15	2.5437	2.4753	2.4034	2.3275	2.2876	2.2468	2.2043	2.1601	2.1141	2.0658
16	2.4935	2.4247	2.3522	2.2756	2.2354	2.1938	2.1507	2.1058	2.0589	2.0096
17	2.4499	2.3807	2.3077	2.2304	2.1898	2.1477	2.1040	2.0584	2.0107	1.9604
18	2.4117	2.3421	2.2686	2.1906	2.1497	2.1071	2.0629	2.0166	1.9681	1.9168
19	2.3779	2.3080	2.2341	2.1555	2.1141	2.0712	2.0264	1.9795	1.9302	1.8780
20	2.3479	2.2776	2.2033	2.1242	2.0825	2.0391	1.9938	1.9464	1.8963	1.8432
21	2.3210	2.2504	2.1757	2.0960	2.0540	2.0102	1.9645	1.9165	1.8657	1.8117
22	2.2967	2.2256	2.1508	2.0707	2.0283	1.9842	1.9380	1.8894	1.8380	1.7831
23	2.2747	2.2036	2.1282	2.0476	2.0050	1.9605	1.9139	1.8648	1.8128	1.7570
24	2.2547	2.1834	2.1077	2.0267	1.9838	1.9390	1.8920	1.8424	1.7896	1.7330
25	2.2365	2.1649	2.0889	2.0075	1.9643	1.9192	1.8718	1.8217	1.7684	1.7110
26	2.2197	2.1479	2.0716	1.9898	1.9464	1.9010	1.8533	1.8027	1.7488	1.6906
27	2.2043	2.1323	2.0558	1.9736	1.9299	1.8842	1.8361	1.7851	1.7306	1.6717
28	2.1900	2.1179	2.0411	1.9586	1.9147	1.8687	1.8203	1.7689	1.7138	1.6541
29	2.1768	2.1045	2.0275	1.9446	1.9005	1.8543	1.8055	1.7537	1.6981	1.6376
30	2.1646	2.0921	2.0148	1.9317	1.8874	1.8409	1.7918	1.7396	1.6835	1.6223
40	2.0772	2.0035	1.9245	1.8389	1.7929	1.7444	1.6928	1.6373	1.5766	1.5089
60	1.9926	1.9174	1.8364	1.7480	1.7001	1.6491	1.5943	1.5343	1.4673	1.3893
120	1.9105	1.8337	1.7505	1.6587	1.6084	1.5543	1.4952	1.4290	1.3519	1.2539
∞	1.8307	1.7522	1.6664	1.5705	1.5173	1.4591	1.3940	1.3180	1.2214	1.0000

ตารางที่ 3 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
1	3.0777	6.3137	12.7062	15.8945	21.2051	31.8210	63.6559	127.3211	636.5776	
2	1.8856	2.9200	4.3027	4.8487	5.6428	6.9645	9.9250	14.0892	31.5998	
3	1.6377	2.3534	3.1824	3.4819	3.8961	4.5407	5.8408	7.4532	12.9244	
4	1.5332	2.1318	2.7765	2.9985	3.2976	3.7469	4.6041	5.5975	8.6101	
5	1.4759	2.0150	2.5706	2.7565	3.0029	3.3649	4.0321	4.7733	6.8685	
6	1.4398	1.9432	2.4469	2.6122	2.8289	3.1427	3.7074	4.3168	5.9587	
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.5168	2.7146	2.9979	3.4995	4.0294	5.4081	
8	1.3968	1.8595	2.3060	2.4490	2.6338	2.8965	3.3554	3.8325	5.0414	
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.3984	2.5738	2.8214	3.2498	3.6896	4.7809	
10	1.3722	1.8125	2.2281	2.3593	2.5275	2.7638	3.1693	3.5814	4.5868	
11	1.3634	1.7959	2.2010	2.3281	2.4907	2.7181	3.1058	3.4966	4.4369	
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.3027	2.4607	2.6810	3.0545	3.4284	4.3178	
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.2816	2.4358	2.6503	3.0123	3.3725	4.2209	
14	1.3450	1.7613	2.1448	2.2638	2.4149	2.6245	2.9768	3.3257	4.1403	
15	1.3406	1.7531	2.1315	2.2485	2.3970	2.6025	2.9467	3.2860	4.0728	
16	1.3368	1.7459	2.1199	2.2354	2.3815	2.5835	2.9208	3.2520	4.0149	
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.2238	2.3681	2.5669	2.8982	3.2224	3.9651	
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.2137	2.3562	2.5524	2.8784	3.1966	3.9217	
19	1.3277	1.7291	2.0930	2.2047	2.3457	2.5395	2.8609	3.1737	3.8833	
20	1.3253	1.7247	2.0860	2.1967	2.3362	2.5280	2.8453	3.1534	3.8496	
21	1.3232	1.7207	2.0796	2.1894	2.3278	2.5176	2.8314	3.1352	3.8193	
22	1.3212	1.7171	2.0739	2.1829	2.3202	2.5083	2.8188	3.1188	3.7922	
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.1770	2.3132	2.4999	2.8073	3.1040	3.7676	
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.1715	2.3069	2.4922	2.7970	3.0905	3.7454	
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.1666	2.3011	2.4851	2.7874	3.0782	3.7251	
26	1.3150	1.7056	2.0555	2.1620	2.2958	2.4786	2.7787	3.0669	3.7067	
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.1578	2.2909	2.4727	2.7707	3.0565	3.6895	
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.1539	2.2864	2.4671	2.7633	3.0470	3.6739	
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.1503	2.2822	2.4620	2.7564	3.0380	3.6595	
30	1.3104	1.6973	2.0423	2.1470	2.2783	2.4573	2.7500	3.0298	3.6460	
31	1.3095	1.6955	2.0395	2.1438	2.2746	2.4528	2.7440	3.0221	3.6335	
32	1.3086	1.6939	2.0369	2.1409	2.2712	2.4487	2.7385	3.0149	3.6218	
33	1.3077	1.6924	2.0345	2.1382	2.2680	2.4448	2.7333	3.0082	3.6109	
34	1.3070	1.6909	2.0322	2.1356	2.2650	2.4411	2.7284	3.0020	3.6007	
35	1.3062	1.6896	2.0301	2.1332	2.2622	2.4377	2.7238	2.9961	3.5911	

ตารางที่ 3 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
36	1.3055	1.6883	2.0281	2.1309	2.2595	2.4345	2.7195	2.9905	3.5821	
37	1.3049	1.6871	2.0262	2.1287	2.2570	2.4314	2.7154	2.9853	3.5737	
38	1.3042	1.6860	2.0244	2.1267	2.2546	2.4286	2.7116	2.9803	3.5657	
39	1.3036	1.6849	2.0227	2.1247	2.2524	2.4258	2.7079	2.9756	3.5581	
40	1.3031	1.6839	2.0211	2.1229	2.2503	2.4233	2.7045	2.9712	3.5510	
41	1.3025	1.6829	2.0195	2.1212	2.2483	2.4208	2.7012	2.9670	3.5443	
42	1.3020	1.6820	2.0181	2.1195	2.2463	2.4185	2.6981	2.9630	3.5377	
43	1.3016	1.6811	2.0167	2.1179	2.2445	2.4163	2.6951	2.9592	3.5316	
44	1.3011	1.6802	2.0154	2.1164	2.2428	2.4141	2.6923	2.9555	3.5258	
45	1.3007	1.6794	2.0141	2.1150	2.2411	2.4121	2.6896	2.9521	3.5203	
46	1.3002	1.6787	2.0129	2.1136	2.2395	2.4102	2.6870	2.9488	3.5149	
47	1.2998	1.6779	2.0117	2.1123	2.2380	2.4083	2.6846	2.9456	3.5099	
48	1.2994	1.6772	2.0106	2.1111	2.2365	2.4066	2.6822	2.9426	3.5050	
49	1.2991	1.6766	2.0096	2.1099	2.2351	2.4049	2.6800	2.9397	3.5005	
50	1.2987	1.6759	2.0086	2.1087	2.2338	2.4033	2.6778	2.9370	3.4960	
51	1.2984	1.6753	2.0076	2.1076	2.2325	2.4017	2.6757	2.9343	3.4917	
52	1.2980	1.6747	2.0066	2.1066	2.2313	2.4002	2.6737	2.9318	3.4877	
53	1.2977	1.6741	2.0057	2.1055	2.2301	2.3988	2.6718	2.9293	3.4837	
54	1.2974	1.6736	2.0049	2.1046	2.2289	2.3974	2.6700	2.9270	3.4799	
55	1.2971	1.6730	2.0040	2.1036	2.2279	2.3961	2.6682	2.9247	3.4765	
56	1.2969	1.6725	2.0032	2.1027	2.2268	2.3948	2.6665	2.9225	3.4730	
57	1.2966	1.6720	2.0025	2.1018	2.2258	2.3936	2.6649	2.9204	3.4695	
58	1.2963	1.6716	2.0017	2.1010	2.2248	2.3924	2.6633	2.9184	3.4663	
59	1.2961	1.6711	2.0010	2.1002	2.2238	2.3912	2.6618	2.9164	3.4632	
60	1.2958	1.6706	2.0003	2.0994	2.2229	2.3901	2.6603	2.9146	3.4602	
61	1.2956	1.6702	1.9996	2.0986	2.2220	2.3890	2.6589	2.9127	3.4572	
62	1.2954	1.6698	1.9990	2.0979	2.2212	2.3880	2.6575	2.9110	3.4545	
63	1.2951	1.6694	1.9983	2.0971	2.2203	2.3870	2.6561	2.9093	3.4517	
64	1.2949	1.6690	1.9977	2.0965	2.2195	2.3860	2.6549	2.9076	3.4491	
65	1.2947	1.6686	1.9971	2.0958	2.2188	2.3851	2.6536	2.9060	3.4466	
66	1.2945	1.6683	1.9966	2.0951	2.2180	2.3842	2.6524	2.9045	3.4441	
67	1.2943	1.6679	1.9960	2.0945	2.2173	2.3833	2.6512	2.9030	3.4418	
68	1.2941	1.6676	1.9955	2.0939	2.2166	2.3824	2.6501	2.9015	3.4395	
69	1.2939	1.6672	1.9949	2.0933	2.2159	2.3816	2.6490	2.9001	3.4372	
70	1.2938	1.6669	1.9944	2.0927	2.2152	2.3808	2.6479	2.8987	3.4350	

ตารางที่ 3 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
71	1.2936	1.6666	1.9939	2.0922	2.2146	2.3800	2.6469	2.8974	3.4329	
72	1.2934	1.6663	1.9935	2.0916	2.2139	2.3793	2.6458	2.8961	3.4308	
73	1.2933	1.6660	1.9930	2.0911	2.2133	2.3785	2.6449	2.8948	3.4289	
74	1.2931	1.6657	1.9925	2.0906	2.2127	2.3778	2.6439	2.8936	3.4270	
75	1.2929	1.6654	1.9921	2.0901	2.2122	2.3771	2.6430	2.8924	3.4249	
76	1.2928	1.6652	1.9917	2.0896	2.2116	2.3764	2.6421	2.8913	3.4232	
77	1.2926	1.6649	1.9913	2.0891	2.2110	2.3758	2.6412	2.8902	3.4214	
78	1.2925	1.6646	1.9908	2.0887	2.2105	2.3751	2.6403	2.8891	3.4197	
79	1.2924	1.6644	1.9905	2.0882	2.2100	2.3745	2.6395	2.8880	3.4180	
80	1.2922	1.6641	1.9901	2.0878	2.2095	2.3739	2.6387	2.8870	3.4164	
81	1.2921	1.6639	1.9897	2.0873	2.2090	2.3733	2.6379	2.8860	3.4148	
82	1.2920	1.6636	1.9893	2.0869	2.2085	2.3727	2.6371	2.8850	3.4132	
83	1.2918	1.6634	1.9890	2.0865	2.2080	2.3721	2.6364	2.8840	3.4116	
84	1.2917	1.6632	1.9886	2.0861	2.2076	2.3716	2.6356	2.8831	3.4101	
85	1.2916	1.6630	1.9883	2.0857	2.2071	2.3710	2.6349	2.8822	3.4086	
86	1.2915	1.6628	1.9879	2.0854	2.2067	2.3705	2.6342	2.8813	3.4073	
87	1.2914	1.6626	1.9876	2.0850	2.2063	2.3700	2.6335	2.8804	3.4059	
88	1.2912	1.6624	1.9873	2.0846	2.2058	2.3695	2.6329	2.8795	3.4046	
89	1.2911	1.6622	1.9870	2.0843	2.2054	2.3690	2.6322	2.8787	3.4033	
90	1.2910	1.6620	1.9867	2.0839	2.2050	2.3685	2.6316	2.8779	3.4019	
91	1.2909	1.6618	1.9864	2.0836	2.2047	2.3680	2.6309	2.8771	3.4006	
92	1.2908	1.6616	1.9861	2.0833	2.2043	2.3676	2.6303	2.8763	3.3995	
93	1.2907	1.6614	1.9858	2.0830	2.2039	2.3671	2.6297	2.8755	3.3982	
94	1.2906	1.6612	1.9855	2.0826	2.2035	2.3667	2.6291	2.8748	3.3970	
95	1.2905	1.6611	1.9852	2.0823	2.2032	2.3662	2.6286	2.8741	3.3958	
96	1.2904	1.6609	1.9850	2.0820	2.2028	2.3658	2.6280	2.8733	3.3948	
97	1.2903	1.6607	1.9847	2.0817	2.2025	2.3654	2.6275	2.8727	3.3937	
98	1.2903	1.6606	1.9845	2.0814	2.2022	2.3650	2.6269	2.8720	3.3926	
99	1.2902	1.6604	1.9842	2.0812	2.2018	2.3646	2.6264	2.8713	3.3915	
100	1.2901	1.6602	1.9840	2.0809	2.2015	2.3642	2.6259	2.8707	3.3905	
105	1.2897	1.6595	1.9828	2.0796	2.2000	2.3624	2.6235	2.8676	3.3856	
110	1.2893	1.6588	1.9818	2.0784	2.1986	2.3607	2.6213	2.8648	3.3811	
115	1.2890	1.6582	1.9808	2.0773	2.1973	2.3592	2.6193	2.8622	3.3772	
120	1.2886	1.6576	1.9799	2.0763	2.1962	2.3578	2.6174	2.8599	3.3734	
125	1.2884	1.6571	1.9791	2.0754	2.1951	2.3566	2.6157	2.8577	3.3701	
130	1.2881	1.6567	1.9784	2.0746	2.1942	2.3554	2.6142	2.8557	3.3670	

ตารางที่ 3 ค่าวิกฤตแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
140	1.2876	1.6558	1.9771	2.0731	2.1924	2.3533	2.6114	2.8522	3.3613	
150	1.2872	1.6551	1.9759	2.0718	2.1909	2.3515	2.6090	2.8492	3.3565	
160	1.2869	1.6544	1.9749	2.0706	2.1896	2.3499	2.6069	2.8465	3.3523	
170	1.2866	1.6539	1.9740	2.0696	2.1885	2.3485	2.6051	2.8441	3.3487	
180	1.2863	1.6534	1.9732	2.0687	2.1874	2.3472	2.6034	2.8421	3.3453	
190	1.2860	1.6529	1.9725	2.0679	2.1865	2.3461	2.6020	2.8402	3.3424	
200	1.2858	1.6525	1.9719	2.0672	2.1857	2.3451	2.6006	2.8385	3.3398	
250	1.2849	1.6510	1.9695	2.0645	2.1826	2.3414	2.5956	2.8322	3.3299	
300	1.2844	1.6499	1.9679	2.0627	2.1805	2.3388	2.5923	2.8279	3.3232	
350	1.2840	1.6492	1.9668	2.0614	2.1790	2.3370	2.5899	2.8249	3.3186	
400	1.2837	1.6487	1.9659	2.0605	2.1779	2.3357	2.5882	2.8227	3.3151	
500	1.2832	1.6479	1.9647	2.0591	2.1763	2.3338	2.5857	2.8195	3.3101	
600	1.2830	1.6474	1.9639	2.0582	2.1753	2.3326	2.5841	2.8175	3.3068	
700	1.2828	1.6470	1.9634	2.0576	2.1745	2.3317	2.5829	2.8160	3.3044	
800	1.2826	1.6468	1.9629	2.0571	2.1740	2.3310	2.5820	2.8148	3.3027	
900	1.2825	1.6465	1.9626	2.0567	2.1735	2.3305	2.5813	2.8140	3.3014	
1000	1.2824	1.6464	1.9623	2.0564	2.1732	2.3301	2.5807	2.8133	3.3002	
1500	1.2821	1.6459	1.9615	2.0555	2.1722	2.3288	2.5791	2.8112	3.2970	
2000	1.2820	1.6456	1.9612	2.0551	2.1716	2.3282	2.5783	2.8102	3.2954	
3000	1.2818	1.6454	1.9608	2.0546	2.1711	2.3276	2.5775	2.8091	3.2938	
4000	1.2818	1.6452	1.9606	2.0544	2.1709	2.3273	2.5771	2.8086	3.2930	
5000	1.2817	1.6452	1.9604	2.0543	2.1707	2.3271	2.5768	2.8083	3.2925	
10000	1.2816	1.6450	1.9602	2.0540	2.1704	2.3267	2.5763	2.8076	3.2915	
20000	1.2816	1.6449	1.9601	2.0539	2.1702	2.3265	2.5761	2.8074	3.2911	
30000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3265	2.5760	2.8072	3.2908	
40000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3264	2.5759	2.8072	3.2908	
50000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3264	2.5759	2.8072	3.2908	
60000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2908	
70000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
80000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
90000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
100000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายณัฐสรณ์ คุปตะวานิช

วันเดือนปีเกิด : 8 สิงหาคม 2534

พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

1. ณัฐสรณ์ คุปตะวานิช และ รศ.วิชัย เยี่ยงวีรชน (2559) “การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องการยึดโยงพิกัดทางตรงและทางอ้อมของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน” การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2559, 3-5 กุมภาพันธ์ 2559

