บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่ทำการศึกษาวิธีการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางด้านความสูงของ LiDAR ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศด้วยวิธีลีสท์สแควร์ สามารถสรุปงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศนั้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูล LiDAR ในรายละเอียดการบินสำรวจ จนกระทั่งการได้มาซึ่งข้อมูล LiDAR เพื่อพิจารณาความถูกต้องของค่าความสูงของข้อมูล LiDAR โดยการพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสูงระหว่างแนวบินที่ซ้อนทับกัน บนตำแหน่งพื้นที่เดียวกัน โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ ที่ทำการพิจารณาตำแหน่งเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล LiDAR เป็นพื้นที่อาคาร ซึ่งสามารถตรวจสอบตำแหน่ง LiDAR บนความสูงอาคารเดียวกันย่อมทำให้ความสูงระหว่างแนวบินที่ซ้อนทับกันมีความสูงเท่ากัน

ซึ่งจากการบินสำรวจข้อมูล LiDAR พร้อมกันกับการบินถ่ายภาพทางอากาศทำให้การบันทึกข้อมูลทางตำแหน่งถูกต้องตรงกันสามารถพิจารณาค่าพิกัดของข้อมูล LiDAR ซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศเพื่อพิจารณาตำแหน่งของ LiDAR บนอาคารได้ แต่เนื่องจากข้อมูล LiDAR มีจุดข้อมูลจำนวนมากและไม่สามารถเลือกเปรียบเทียบข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2 ของความสูงบนอาคารได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกเปรียบเทียบระหว่างจุดต่อจุดของข้อมูล โดยการพิจารณาจุดที่อยู่ใกล้กันบนอาคาร โดยวิเคราะห์ว่าจุดที่อยู่ใกล้กันเปรียบเป็นจุดเดียวกัน ดังนั้นในขั้นตอนการเลือกจุดเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าความสูงของข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินและสามารถนำค่าที่มีความสูงต่างระหว่างแนวบินไปทำการปรับแก้ ซึ่งผลการเลือกจุดได้พิจารณาจุดข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุดที่ระยะไม่เกิน 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร

เมื่อได้ระยะที่ใช้ในการเลือกจุดแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการเลือกจุดบนอาคารซึ่งขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการซ้อนทับข้อมูล LiDAR เพื่อเลือกจุด แต่เนื่องจากอาคารจาก

ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้เพื่อซ้อนทับข้อมูล LiDAR นั้น บริเวณของขอบอาคารไม่ชัดเจนซึ่งจะมีผลในการเลือกจุดข้อมูล LiDAR บริเวณของขอบอาคาร ดังนั้นจึงต้องหาขอบอาคาร จากภาพถ่ายทางอากาศ

ซึ่งเมื่อได้ขอบของอาคารจากภาพถ่ายทางอากาศแล้ว จึงนำขอบของอาคารไปสร้างชั้นข้อมูลอาคาร ซึ่งวิธีการสร้างชั้นข้อมูลอาคารนั้นช่วยให้การเลือกจุดได้ถูกต้องและรวดเร็ว ลดขั้นตอนการทำงานในกระบวนการต่างๆ ดังนั้นจากการเลือกข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินนั้น ที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร มีข้อมูล LiDAR จำนวน 30 จุดข้อมูล และที่ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร มีข้อมูล LiDAR จำนวน 54 จุดข้อมูล ซึ่งเมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวและเปรียบเทียบความสูงระหว่างแนวบินจึงทำการปรับแก้ด้วยวิธีลีสท์สแควร์

จากการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล LiDAR ด้วยวิธีลีสท์สแควร์ ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งเงื่อนไขเพื่อใช้พิจารณาทั้งหมด 2 กรณี คือ

- ปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร
- ปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร

เมื่อได้ผลจากการปรับแก้จากชุดข้อมูลทั้ง 2 กรณีแล้วนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับแก้ทั้ง 2 กรณี ไปทำการปรับแก้ค่าความสูงต่าง โดยไม่ได้เลือกใช้ข้อมูลบนภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแบ่งเงื่อนไขเพื่อใช้พิจารณาทั้งหมด 3 กรณี คือ

- ปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินพื้นที่ซ้อนทับที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร
- ปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินพื้นที่ซ้อนทับที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร
- ปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบิน

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการปรับแก้ความสูงต่างระหว่างแนวบินและความสูงของแต่ละแนวบิน

รายการ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด(จุด)	จุดที่ปรับแก้ (จุด)	ค่าปรับแก้เฉลี่ย (เมตร)	ค่า S.D (เมตร)
ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร บนอาคาร	30	30	0.07600	0.06744
ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร บนอาคาร	54	54	0.05056	0.03864
ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร ทั้งแนวซ้อนทับ	1,044	100	0.11027	0.10498
ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร ทั้งแนวซ้อนทับ	1,044	1,044	0.19082	0.13846
ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ทั้งแนวซ้อนทับ	4,536	100	0.26429	0.26977
ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ทั้งแนวซ้อนทับ	4,536	4,536	0.42526	0.37832
ปรับแก้ทั้งแนวบินที่ 1	718,158	100	0.18074	0.13886
ปรับแก้ทั้งแนวบินที่ 2	652,187	100	0.33395	0.27767

จากตารางที่ 5.1 ได้ผลการปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลวิธีลีสท์สแควร์ กรณีปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลในการปรับแก้ 30 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 0.07600 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.06744 เมตร

5.1.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลวิธีลีสท์สแควร์ กรณีปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลในการปรับแก้ 54 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่าง เฉลี่ย เท่ากับ 0.05056 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.03864 เมตร

5.1.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลวิธีลีสท์สแควร์ กรณีปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินพื้นที่ซ้อนทับ ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลในการปรับแก้ 1,044 จุดข้อมูล แต่ได้นำมาทำการคำนวณปรับแก้ 100 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 0.11027 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.10498 เมตร และนำมาปรับแก้ทั้งหมด 1,044 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 0.19082 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.13846 เมตร

5.1.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลวิธีลีสท์สแควร์ กรณีปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินพื้นที่ซ้อนทับ ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลในการปรับแก้ 4,536 จุดข้อมูล แต่ได้นำมาทำการคำนวณปรับแก้ 100 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.26429 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.26977 เมตร และนำมาปรับแก้ทั้งหมด 4,536 จุดข้อมูล ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 0.42526 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.37832 เมตร

5.1.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลวิธีลีสท์สแควร์ กรณีปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบิน ซึ่งใช้พารามิเตอร์จากการปรับแก้ที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนจุดข้อมูลในการปรับแก้แนวบินที่ 1 จำนวน 718,158 จุด แนวบินที่ 2 จำนวน 652,187 จุดข้อมูล แต่ได้นำมาทำการคำนวณปรับแก้แนวบินที่ 1 จำนวน 100 จุดข้อมูล และแนวบินที่ 2 จำนวน 100 จุดข้อมูล โดยการเลือกจุดกระจายทั้งแนวบิน ได้ผลการคำนวณค่าปรับแก้ค่าความสูงปรับแก้ แนวบินที่ 1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.18074 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.13886 เมตร และแนวบินที่ 2 เฉลี่ยเท่ากับ 0.33395 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.27767 เมตร

จากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยในเรื่องการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศนั้น จากการปรับแก้ข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ปรากฏว่าที่ระยะห่างของข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า เนื่องจากจำนวนจุดที่น้อย จึงนำค่าพารามิเตอร์จากที่ปรับแก้บนอาคารที่ระยะดังกล่าวไปทำการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินพื้นที่ซ้อนทับที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร ปรากฏว่าทั้งการทดสอบการปรับแก้ที่จำนวนจุด 100 จุดข้อมูล และ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ซ้อนทับกันทั้งแนวบิน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์จากการปรับแก้ที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร มีความน่าเชื่อถือมากกว่า จึงเลือกใช้พารามิเตอร์ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร ไปทำการปรับแก้ทั้งแนวบิน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเลือกจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศมีผลช่วยในการปรับแก้ และสามารถใช้พารามิเตอร์จากสมการระนาบช่วยในการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ มีการใช้ทฤษฎีต่างๆในการทำให้เกิดเทคนิคใหม่ ๆ เช่น การเลือกจุดเพื่อเปรียบเทียบจุดใกล้เคียงกันเป็นจุดเดียวกัน การใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นจุดควบคุมเพื่อแสดงให้เห็นว่าข้อมูล LiDAR ที่อยู่บนอาคารเดียวกันนั้นย่อมมีค่าความสูงใกล้เคียงกัน การเลือกจุดและพื้นที่ทำให้เลือกจุดเปรียบเทียบได้ถูกต้อง ช่วยในการลดค่าความคลาดเคลื่อนลงได้ และการใช้สมการระนาบในการปรับแก้เป็นวิธีการเลือกใช้สมการเพื่อแสดงให้เห็นว่าสมการระนาบสามารถปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งแนวบินได้ ซึ่งจากทฤษฎีดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยอื่นที่มีการปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนได้

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้สามารถที่จะพัฒนาซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการปรับแก้ด้วยวิธีลีสท์สแควร์เพื่อสามารถปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อสะดวกในการใช้งาน และการปรับแก้ในงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ อาจมีการวิเคราะห์หรือศึกษาเปรียบเทียบได้ในงานวิจัยอื่นต่อไปในอนาคต

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

5.3.1 งานวิจัยนี้สนใจความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทางด้านความสูงและมีการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทางด้านความสูงเท่านั้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้วิธีการจากการเลือกจุดของข้อมูล LiDAR และวิธีการปรับแก้จากงานวิจัยนี้เพื่อนำไปทำการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ทั้งทางดิ่งและทางราบ

5.3.2 งานวิจัยนี้เป็นการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบิน ซึ่งปรับแก้เพียง 2 แนวบินที่ซ้อนทับกัน ซึ่งสามารถนำวิธีการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวบินจากงานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางในการปรับแก้ข้อมูล LiDAR พร้อมกันหลายๆแนวบิน