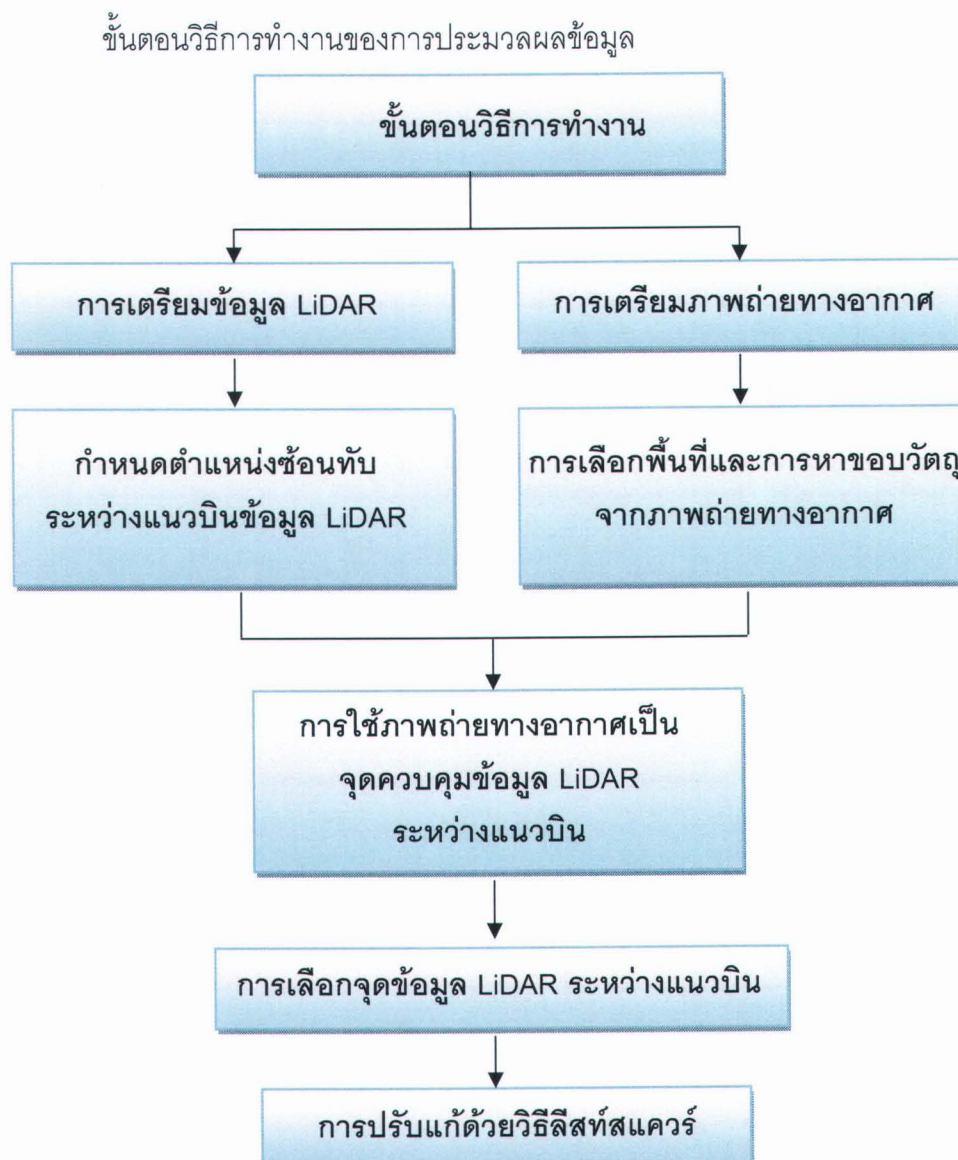


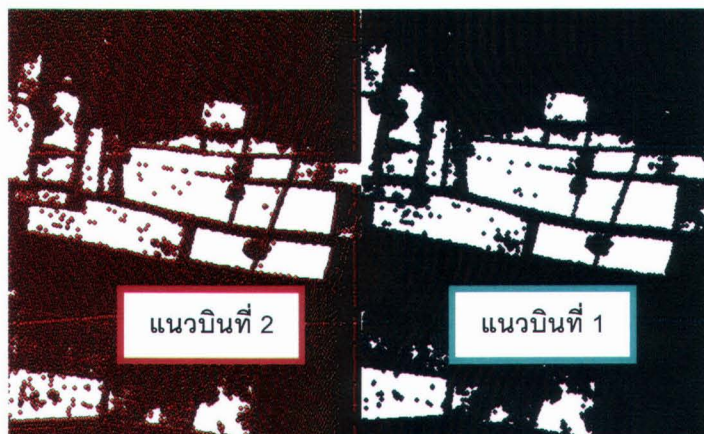
บทที่ 3

การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้แก่ การเตรียมข้อมูล LiDAR การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ การเตรียมข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวนบนพื้นที่อาคาร การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศ การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นในการประมวลผล การประมวลผลข้อมูลความสูงของ LiDAR ระหว่างแนวนบริเวณพื้นที่อาคาร และการจัดเก็บข้อมูลความสูง LiDAR เพื่อเตรียมข้อมูลไปปรับแก้ความคลาดเคลื่อน โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

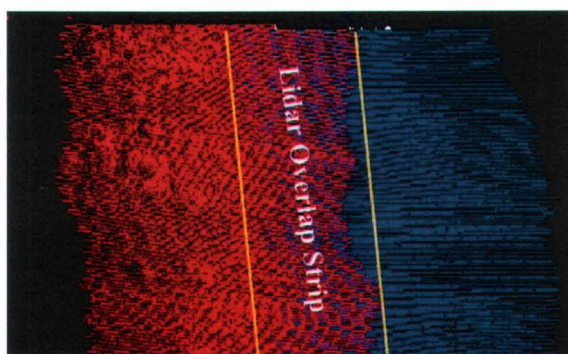


รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Points LiDAR ระหว่างแนวบินด้วยสีที่ต่างกัน

3.2 กำหนดแนวพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบินของข้อมูล LiDAR

3.2.1 กำหนดแนวพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน

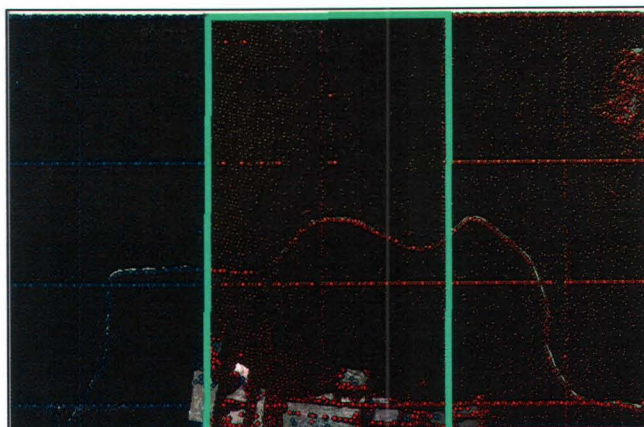
เนื่องจากงานวิจัยนี้เราจะทำการพิจารณาเฉพาะส่วนที่มีการซ้อนทับกันระหว่างแนวบินเพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวบินและปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ดังนั้นเราจึงเลือกข้อมูล LiDAR และกำหนดแนวพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบินเพื่อเลือกวิเคราะห์เฉพาะส่วนซ้อนทับดังกล่าวเท่านั้น จากการกำหนดให้ Points LiDAR มีค่าเจดสีของแนวบินที่ต่างกัน แนวบินที่ 1 สีน้ำเงิน และแนวบินที่ 2 สีแดง เราจึงทำการพิจารณาในส่วนของพื้นที่ซ้อนทับกันดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กำหนดแนวพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน

3.2.2 เลือกตำแหน่งพื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวบิน

จากการกำหนดตำแหน่งแนวพื้นที่ซ้อนทับของข้อมูล LiDAR จะทำให้ทราบพื้นที่ส่วนที่ซ้อนทับกันเป็นแนวเส้นสีเหลืองดังรูปที่ 3.4 จึงทำการเลือกเฉพาะพื้นที่ที่มีข้อมูล LiDAR ซ้อนทับกันมาใช้เปรียบเทียบความสูงระหว่างแนวบิน ด้วยใช้โปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ช่วยในการเลือกพื้นที่ส่วนซ้อนทับกันดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 พื้นที่ซ้อนทับระหว่างแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2



รูปที่ 3.6 เลือกพื้นที่ส่วนซ้อนทับระหว่างแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2

3.3 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

เนื่องจากการบินถ่ายภาพและจัดเก็บบันทึกข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา เป็นการติดตั้งกล้องถ่ายภาพไว้บนอากาศยานและบินเก็บบันทึกภาพพร้อมกับการบินสำรวจข้อมูล LiDAR ดังนั้นภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ศึกษานี้ จึงเป็นภาพถ่ายทางอากาศที่มี

ตำแหน่งและพิกัดเดียวกับข้อมูล LiDAR ลักษณะภาพถ่ายทางอากาศเป็นภาพออร์โทรี ฟินถ่ายภาพ
ข้อมูล ณ.อำเภอบ้านหมอ จ.สระบุรี ระบบพิกัด UTM บนพื้นหลักฐาน WGS 1984 โซน 47



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายทางอากาศ พื้นที่ศึกษา



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ อ.บ้านหมอ จ.สระบุรี

เนื่องจากงานวิจัยการปรับแก้ข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบินโดยอาศัยจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศจะช่วยให้การวิเคราะห์ตำแหน่งของข้อมูล LiDAR บนพื้นที่ซ้อนทับ สามารถช่วยวิเคราะห์ตำแหน่งของข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศจากพื้นที่วัตถุ สามารถเปรียบเทียบความสูงระหว่างแนวกบินและช่วยในการเลือกตำแหน่งของข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบินได้อย่างถูกต้อง

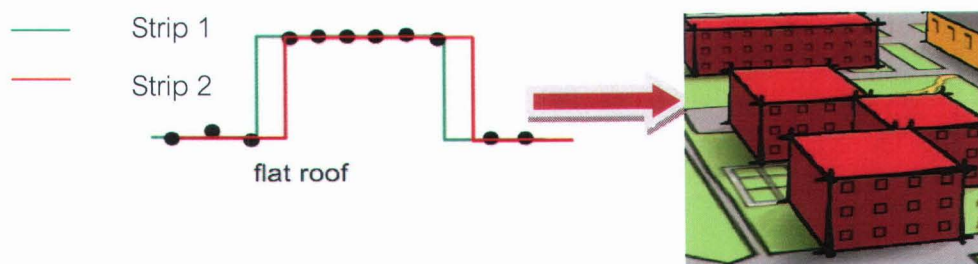
ซึ่งจะทำให้เราทราบตำแหน่งของข้อมูล LiDAR เมื่อเราต้องการพิจารณาค่าความสูงที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราพิจารณาความสูงของวัตถุต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่นั้นมาทำการซ้อนทับเพื่อให้ทราบความสูงของข้อมูล LiDAR บนตำแหน่งพื้นที่ซ้อนทับของข้อมูล LiDAR บนวัตถุต่างๆจากภาพถ่ายทางอากาศ

3.4 การเลือกพื้นที่และการหาขอบวัตถุจากภาพถ่ายทางอากาศ

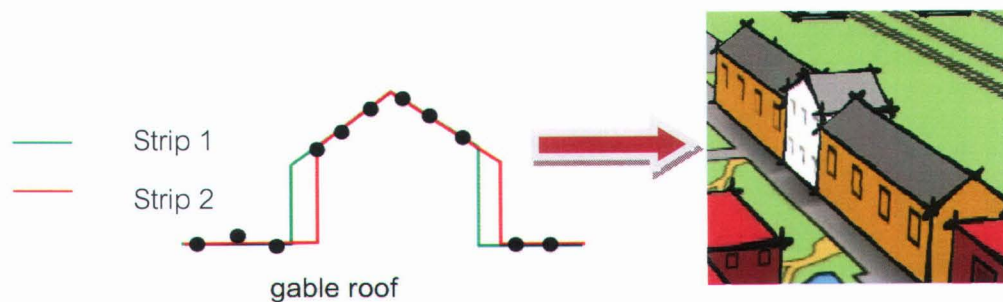
ทำการเลือกข้อมูล LiDAR บริเวณพื้นที่ซ้อนทับเดียวกันของพื้นที่ศึกษา เพื่อต้องการตรวจสอบค่าความสูงของข้อมูล LiDAR จึงได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาทำการซ้อนทับและพิจารณาความสูงบริเวณพื้นที่นั้น ซึ่งพื้นที่ศึกษาเราพิจารณาพื้นที่ที่ทราบความสูงได้แน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงเป็นสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ อาคาร ถนน เป็นต้น การเลือกพิจารณาพื้นที่อาคารและถนน เป็นไปตามลักษณะการพิจารณาดังนี้

3.4.1 การพิจารณาพื้นที่อาคาร

อาคารเป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสถียร เนื่องจากสามารถตรวจสอบความสูงอาคารได้แน่นอน ซึ่งลักษณะของอาคารที่ใช้ในการพิจารณาความสูงของข้อมูล LiDAR บริเวณพื้นที่ซ้อนทับนั้น ต้องเป็นอาคารที่สามารถตรวจสอบความสูงได้ ในการเลือกภาพถ่ายทางอากาศบริเวณแนวซ้อนทับระหว่างแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2 นั้นจำเป็นต้องเลือกข้อมูลบริเวณพื้นที่อาคารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสูงของข้อมูล LiDAR ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการเลือกพื้นที่อาคารที่มีลักษณะราบเรียบ (Flat roof) และลักษณะเป็นจั่ว (Gable roof) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.9 อาคารที่มีลักษณะเรียบ (Flat roof) (Brenner, 2006)



รูปที่ 3.10 อาคารที่มีลักษณะเป็นทรงจั่ว (Gable roof) (Brenner, 2006)

3.4.2 การพิจารณาพื้นที่ถนน

เนื่องจากถนนเป็นสิ่งปลูกสร้างที่สามารถตรวจสอบความสูงได้แต่ก็มีปัญหาในเรื่องความไม่เสถียร เนื่องจากการใช้งานและรับน้ำหนักบรรทุกตลอดเวลาทำให้ถนนอาจมีการชำรุดได้ ดังนั้นทำให้ความสูงของถนนมีความเปลี่ยนแปลง สาเหตุของการชำรุดของถนนมีหลายสาเหตุด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก) ผิวถนนเป็นหลุมบ่อ

(ข) ผิวถนนขรุขระ

(ค) ผิวถนนทรุดตัว

รูปที่ 3.11 ความเสียหายต่อผิวถนน (CHEMROAD, 2010)

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ภาพถ่ายทางอากาศพื้นที่ที่สามารถตรวจสอบความสูงได้แน่นอนเป็นพื้นที่ซ้อนทับข้อมูล LiDAR เพื่อลดปัญหาความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากความเสียหายจากวัตถุ ดังเช่น ความเสียหายที่เกิดจากผิวถนนเป็นหลุมเป็นบ่อ ผิวถนนขรุขระ ผิวถนนทรุดตัว เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อความสูงของพื้นที่ถนนเอง ดังนั้นการเลือกภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่วัตถุ นั้น จึงเลือกเฉพาะบริเวณพื้นที่อาคารซึ่งมีความเสถียร สามารถตรวจสอบความสูงได้ มีความเสียหายและผิดพลาดของความสูงน้อยกว่าถนน เพราะฉะนั้นจะทำให้ทราบข้อมูลความสูงของ LiDAR บริเวณอาคารและความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวนอนที่เกิดจากตัว LiDAR เอง

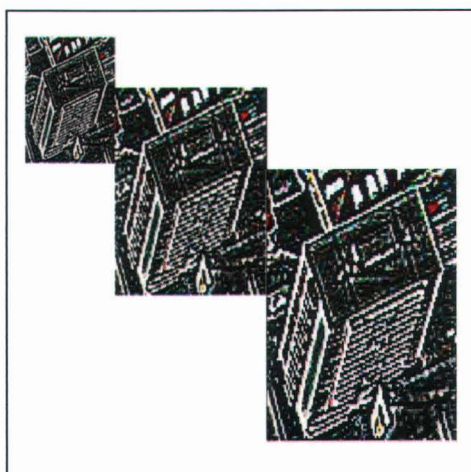
3.4.3 การหาขอบวัตถุพื้นที่อาคาร

เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุ เราจะสามารถคำนวณพื้นที่ (ขนาด) หรือรู้จักชนิดของวัตถุนั้นได้

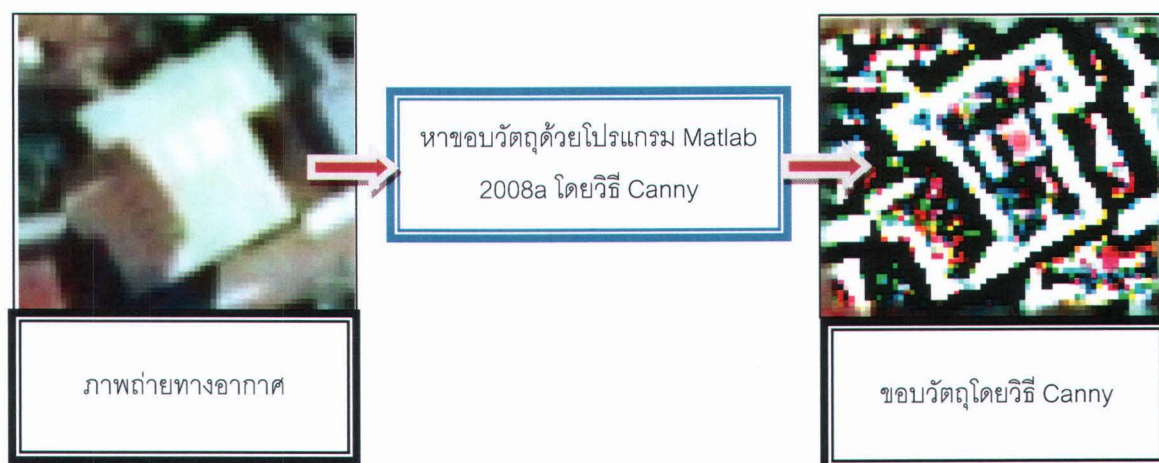
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Canny ในการหาขอบวัตถุจะให้รายละเอียดขอบวัตถุดีที่สุดและใช้ได้ในกรณีที่สีแต่ละสีมีความแตกต่างกันน้อย ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

- 1) Smoothing with Gaussian filter
- 2) Gradient Calculation
- 3) Nonmaxima Suppression
- 4) Thresholding

ทำการหาขอบวัตถุ (Edge Detection) โดยวิธี Canny โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่อาคารบริเวณที่เลือกมาหาขอบวัตถุ โดยใช้กระบวนการหาขอบวัตถุโดยคำสั่ง Canny ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Matlab 2008a จะทำให้ได้ขอบวัตถุชัดเจนตามที่เรากำลังต้องการเพื่อนำไปซ้อนข้อมูล LiDAR และเลือกตำแหน่งจุดของชุดข้อมูลบริเวณขอบของอาคารได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการหาขอบวัตถุ (Edge Detection)



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการหาขอบวัตถุโดยวิธี Canny

3.4.4 การสร้างชั้นข้อมูลของอาคาร

หลังทำการหาขอบวัตถุของอาคาร โดยวิธี Canny แล้วนั้น จึงเป็นกระบวนการสร้างชั้นข้อมูลโดยทำการสร้างขอบเขตที่แน่นอนของวัตถุนั้น เพื่อจะทำการกำหนดขนาดของอาคาร โดยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ซึ่งขนาดของภาพการสร้างชั้นข้อมูลของอาคารที่แสดงดังรูปที่ 3.14 แสดงมาตราส่วน 1: 200 และนำชั้นข้อมูลของอาคารไปทำการเลือกจุดข้อมูล LiDAR ในกระบวนการต่อไป

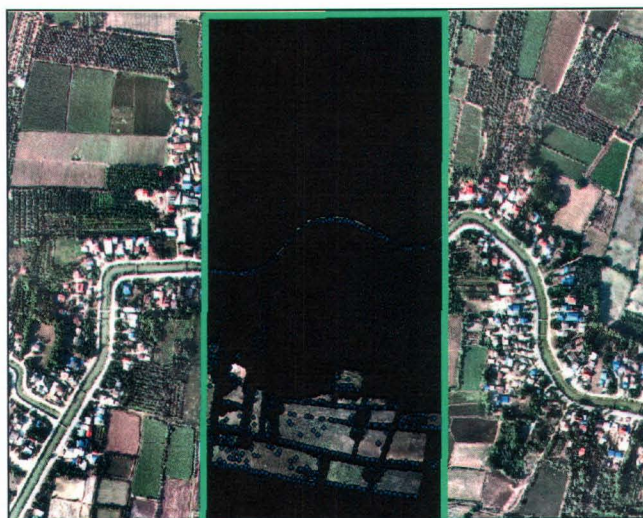
การสร้างชั้นข้อมูลอาคารนั้นยังช่วยในกระบวนการเลือกจุดข้อมูล LiDAR บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ซึ่งทำการเลือกข้อมูล LiDAR ที่อยู่ในชั้นข้อมูลเท่านั้น ซึ่งสามารถทำการเลือกจุดที่อยู่ในชั้นข้อมูลอาคารได้พร้อมกันทั้งหมดทุกจุดแต่ถ้าไม่สร้างชั้นข้อมูลก็จะต้องใช้การเลือกทีละจุด ซึ่งจะทำให้กระบวนการทำงานช้าและยุ่งยาก



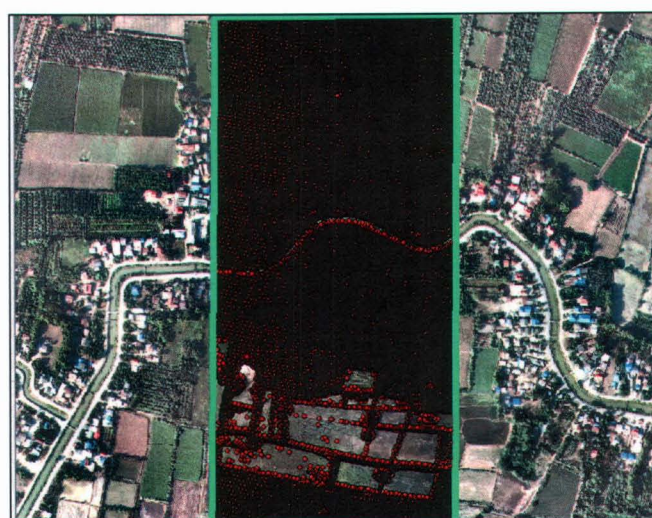
รูปที่ 3.14 กระบวนการสร้างชั้นข้อมูลอาคาร

3.5 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นจุดควบคุมข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบิน

เมื่อทำการเตรียมข้อมูล LiDAR และภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการหาขอบวัตถุของอาคาร แล้วนั้นจึงใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นจุดควบคุมข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบิน บนพื้นที่ซ้อนทับในตำแหน่งเดียวกัน โดยการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ซ้อนทับทั้งหมดเพื่อจะพิจารณาข้อมูล LiDAR บนพื้นที่ตำแหน่งอาคารต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16



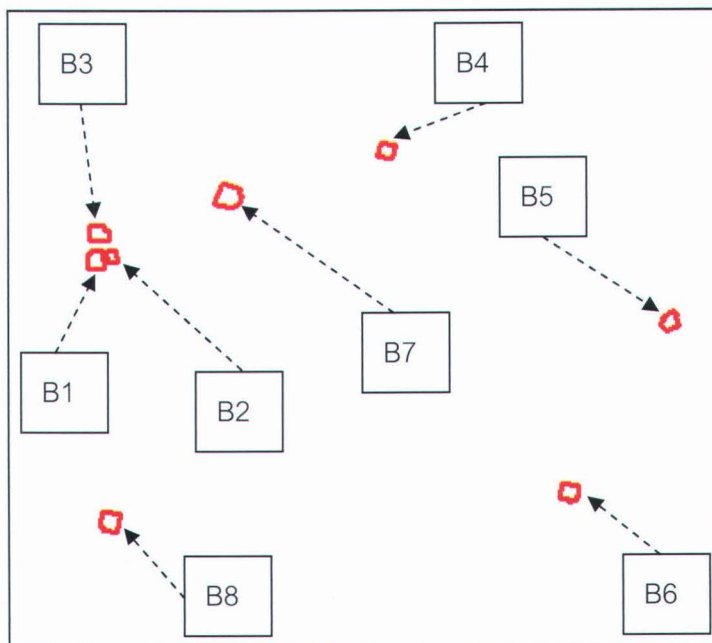
รูปที่ 3.15 การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศของแนวกบินที่ 1



รูปที่ 3.16 การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศของแนวกบินที่ 2

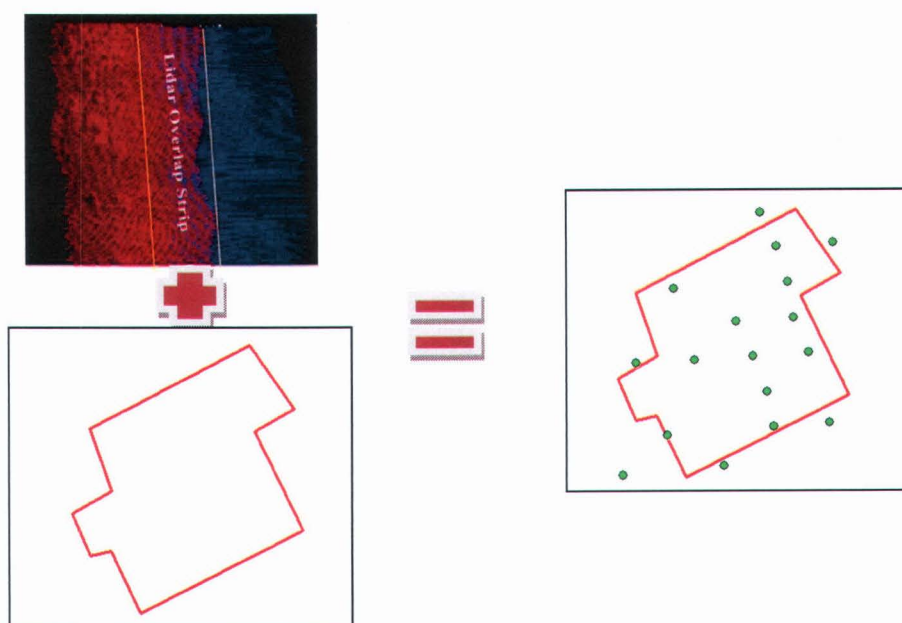
เมื่อการใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อพิจารณาการซ้อนทับของแนวกบินทั้งหมด จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูล LiDAR บริเวณภาพถ่ายทางอากาศพื้นที่อาคาร ทำการเลือกอาคารที่จะทำการพิจารณา จากนั้นจึงทำการสร้างชั้นข้อมูลของอาคารจากภาพถ่ายทางอากาศที่หาขอบวัตถุทุกหลัง

บนพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาอาคารทั้งหมดจำนวน 8 อาคาร ทำให้ได้ชั้นข้อมูลอาคารดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ชั้นข้อมูลอาคารของจำนวนอาคารทั้งหมดบริเวณพื้นที่ศึกษา

เมื่อได้จัดเตรียมจำนวนชั้นข้อมูลอาคารทุกหลังที่พิจารณาแล้ว จึงทำการพิจารณาข้อมูล LiDAR บนพื้นที่อาคารจากชั้นข้อมูลอาคารที่ได้สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.18

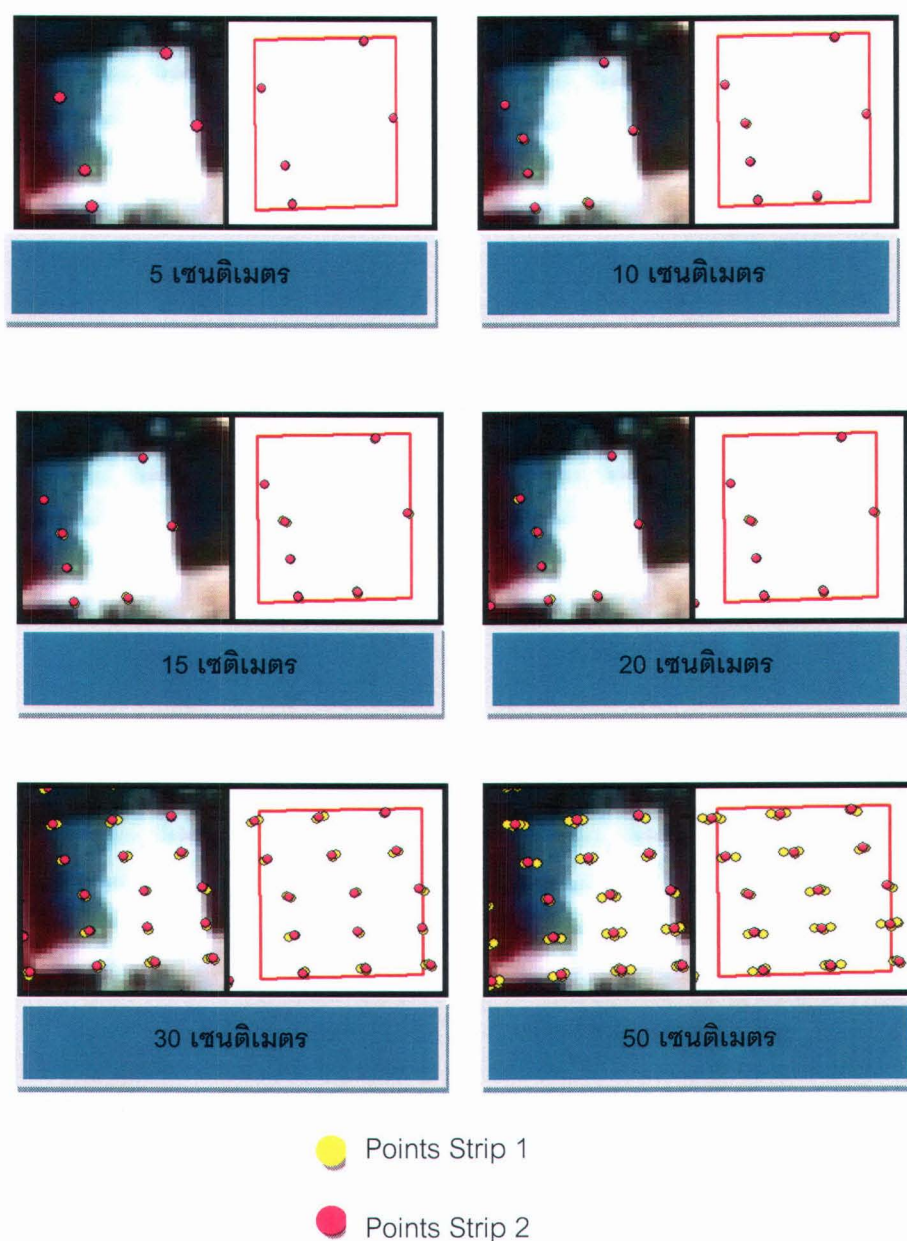


รูปที่ 3.18 การซ้อนทับข้อมูล LiDAR บริเวณพื้นที่อาคารจากชั้นข้อมูลอาคาร

3.6 การเลือกจุดข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบิน

3.6.1 การเลือกจุดข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวกบินบนชั้นข้อมูลอาคาร

จากการวิเคราะห์โดยการเลือกจุดข้อมูลจากอาคาร จะเห็นได้ว่าจุดระหว่างทั้งสองแนวกบินบนจุดควบคุมจากภาพถ่ายทางอากาศบนพื้นที่อาคารนั้นมีจุดซ้อนทับกันจำนวนมาก ซึ่งจุดที่อยู่ใกล้กันเปรียบเสมือนจุดเดียวกัน และจุดที่อยู่ห่างกันก็ถือว่าไม่ได้เป็นจุดเดียวกัน ดังแสดงให้เห็นได้ว่าที่ระยะห่างที่วิเคราะห์ที่ระยะ 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร ปรากฏตามที่แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบการเลือกจุดบนภาพถ่ายทางอากาศและชั้นข้อมูลอาคาร

จากรูปที่ 3.19 ที่แสดงจะเห็นได้ว่าที่ระยะ 20, 30 และ 50 เซนติเมตร จุดที่ซ้อนทับแสดงให้เห็นได้จากภาพการซ้อนทับว่าเป็นจุดที่ห่างกันเปรียบเทียบเป็นคนละจุดกัน แต่ที่ระยะ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร เป็นจุดที่ระยะห่างระหว่างจุดซ้อนทับกันพอดีซึ่งเปรียบเทียบเสมือนจุดเดียวกัน แต่ระยะความสูงของข้อมูล LIDAR ที่ระยะ 15 เซนติเมตร มีความสูงคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงมากกว่าความสูงคลาดเคลื่อนที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร ซึ่งแสดงว่าเป็นคนละจุดกัน และได้วิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายการเลือกจุดข้อมูล LIDAR

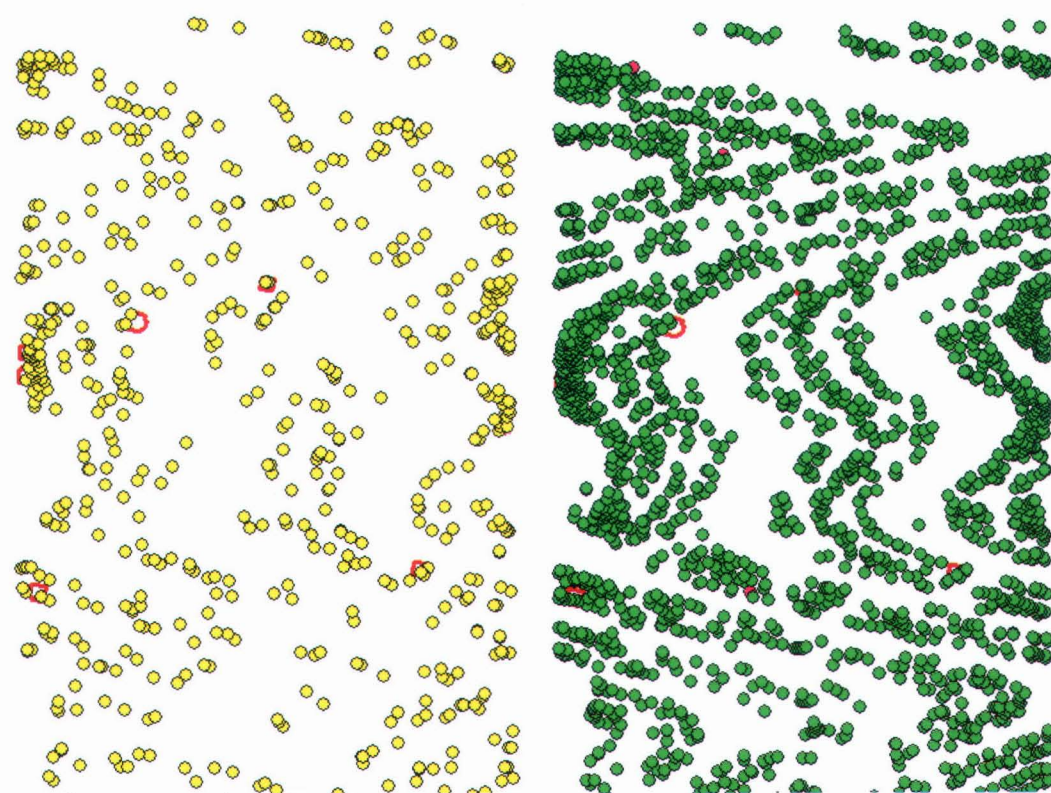
ข้อมูล LIDAR ที่ระยะห่าง ระหว่าง จุด	แสดงรายการเลือกจุด			
	ทั้งแนวน	เฉพาะอาคาร	ค่าคลาดเคลื่อน	ค่าคลาดเคลื่อน
	จำนวน	จำนวน	ต่ำสุด	สูงสุด
	(จุด)	(จุด)	(m.)	(m.)
1 cm	48	3	0.06	0.12
2 cm	168	11	0.01	0.15
3 cm	416	16	0.01	0.26
4 cm	697	27	0.01	0.29
5 cm	1,044	30	0.01	0.29
6 cm	1,610	36	0.01	0.31
7 cm	2,122	45	0.01	0.31
8 cm	2,811	51	0.01	0.31
9 cm	3,638	54	0.01	0.31
10 cm	4,536	54	0.01	0.31
15 cm	4,784	58	0.01	<0.50
20 cm	5,071	ไม่ทดสอบ	ไม่ทดสอบ	ไม่ทดสอบ
30 cm	36,717			
50 cm	92,232			

จากตารางที่ 3.1 สรุปได้ว่า ระยะห่างที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลในขั้นต่อไปนั้นคือ ข้อมูลที่มีระยะห่างของจุดเท่ากับ 5 และ 10 เซนติเมตร เนื่องจากข้อมูลที่ระยะ 5 เซนติเมตรมีความ

เปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนอย่างเห็นได้ชัดเจน และมีจำนวนจุดที่เพียงพอต่อการนำมาใช้ (ครอบคลุมอาคาร) เมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงระยะห่างที่น้อยกว่า และเลือกใช้ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างเท่ากับ 10 เซนติเมตร เนื่องจาก ข้อมูลที่ระยะห่างที่มากกว่าระยะห่างดังกล่าวจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วคือเท่ากับ 0.5 เมตร จาก 0.31 เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจส่งผลในการเปรียบเทียบจุด ซึ่งแสดงว่าเป็นคนละจุดกัน ดังนั้นผลจากการเลือกจุดจึงได้ระยะห่างของจุดที่ใช้เพื่อพิจารณาในการปรับแก้ที่ระยะห่าง 5 และ 10 เซนติเมตร

3.6.2 การใช้ชั้นข้อมูลอาคารจากภาพถ่ายทางอากาศเลือกข้อมูล LiDAR

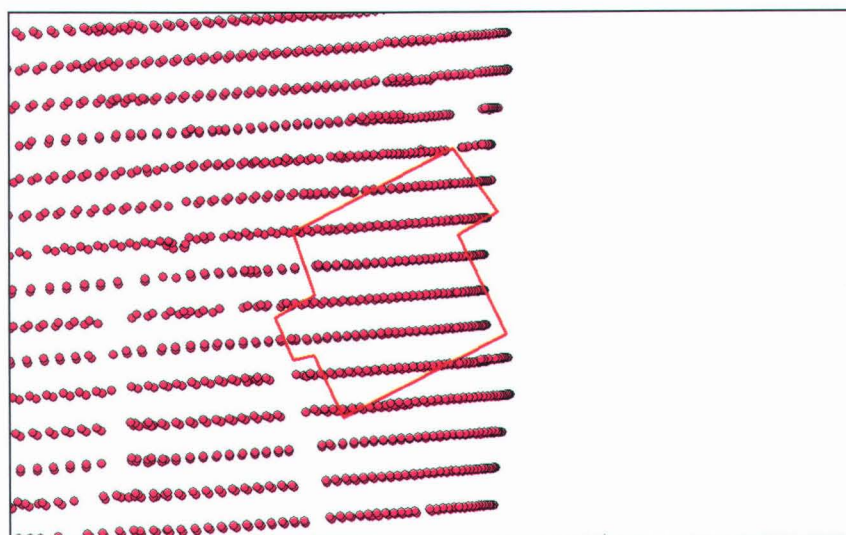
เมื่อทำการเตรียมชั้นข้อมูลอาคารจากภาพถ่ายทางอากาศที่หาขอบวัตถุและข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 และ 10 เซนติเมตร นำข้อมูลทั้งสองส่วนมาทำการซ้อนทับกันเพื่อพิจารณาเลือกวิเคราะห์ข้อมูล LiDAR บนพื้นที่อาคารดังแสดงในรูปที่ 3.20



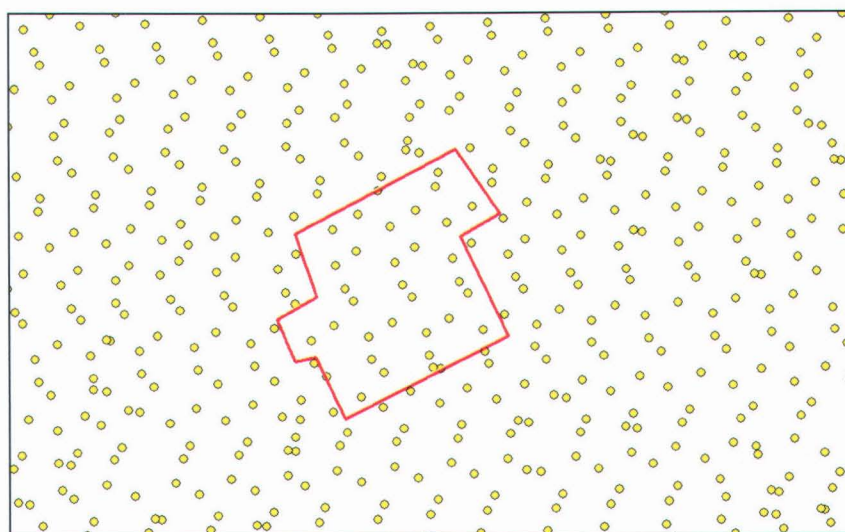
(ก) ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร (ข) ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.20 ข้อมูล LiDAR ซ้อนทับชั้นข้อมูลอาคาร

จากรูปที่ 3.21 และ 3.22 เป็นการนำข้อมูล LiDAR ของแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2 ทำการซ้อนทับบนชั้นข้อมูลอาคารเพื่อทำการเลือกจุดที่อยู่บนชั้นข้อมูลอาคารที่ระยะ 5 เซนติเมตร โดยทำการเลือกข้อมูล LiDAR บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3

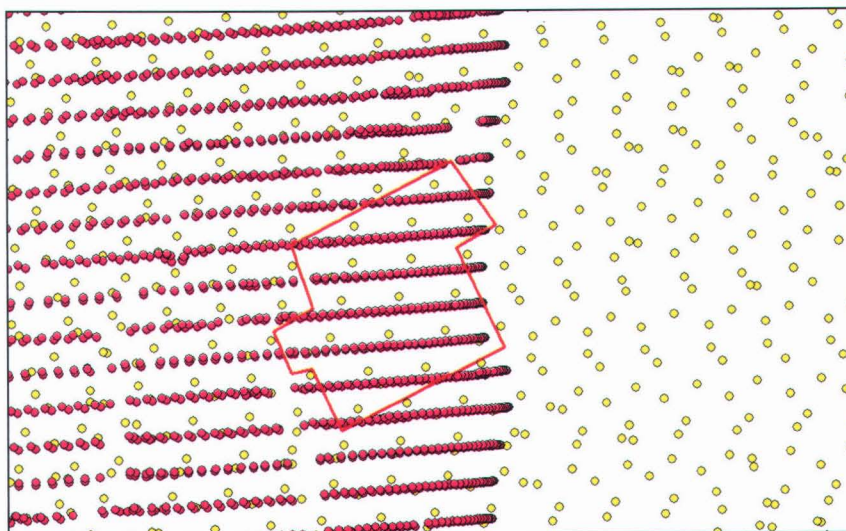


รูปที่ 3.21 ข้อมูล LiDAR แนวกบินที่ 1 บนชั้นข้อมูลอาคาร

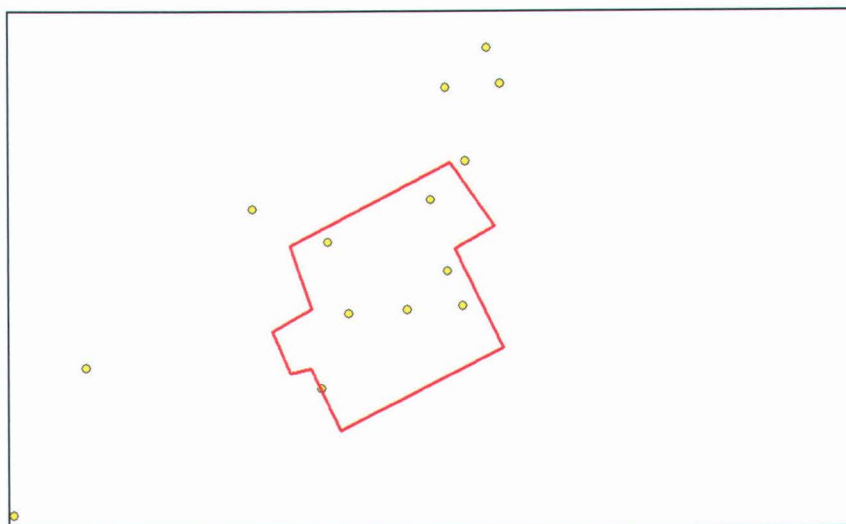


รูปที่ 3.22 ข้อมูล LiDAR แนวกบินที่ 2 บนชั้นข้อมูลอาคาร

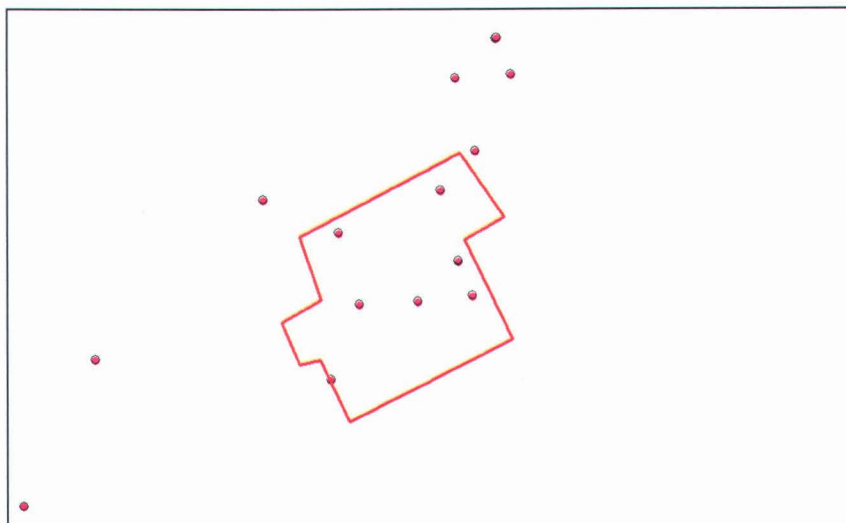
จากรูปที่ 3.23 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2 ซ้อนทับบนชั้นข้อมูลอาคาร จากนั้นทำการสร้าง buffer บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ให้ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2 ที่อยู่ในรัศมี 5 เซนติเมตร และถ้ามีจุดที่ใกล้กันมากกว่า 1 จุดให้เลือกจุดที่ใกล้ที่สุดเพียงจุดเดียวให้สัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.24 และ 3.25



รูปที่ 3.23 ข้อมูล LiDAR ทั้งสองแนวบินบนชั้นข้อมูลอาคาร

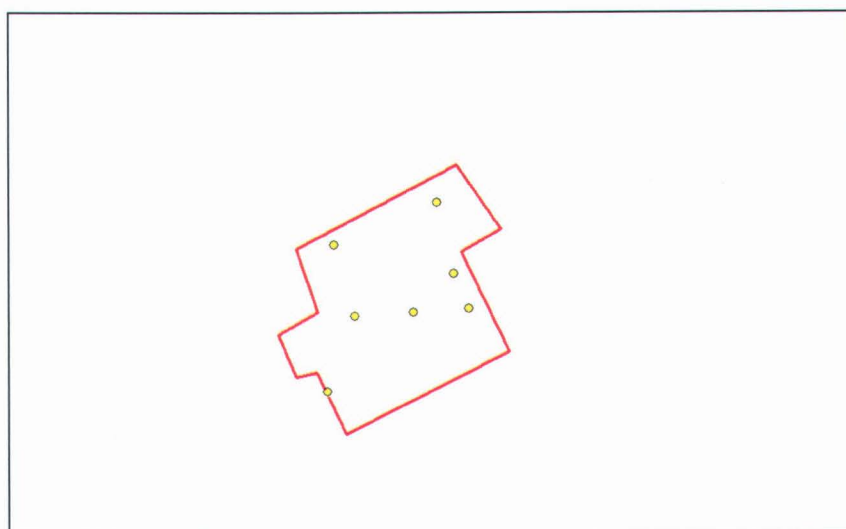


รูปที่ 3.24 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน

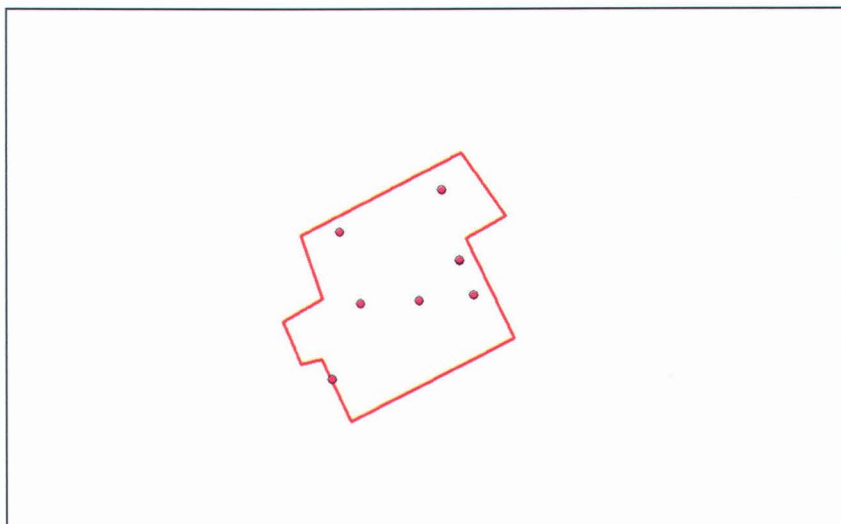


รูปที่ 3.25 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน

เมื่อได้ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตรทั้งแนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2 จึงทำการเลือกข้อมูล LiDAR ที่อยู่บนชั้นข้อมูลอาคารเท่านั้นโดยการเลือกข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร ทั้งแนวบินที่ 1 และแนวบินที่ 2 ให้ intersect กับชั้นข้อมูลอาคารที่ได้สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศที่หาขอบวัตถุ บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 จะทำให้ได้ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และ แนวบินที่ 2 ที่อยู่ในรัศมี 5 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 3.26 และ 3.27

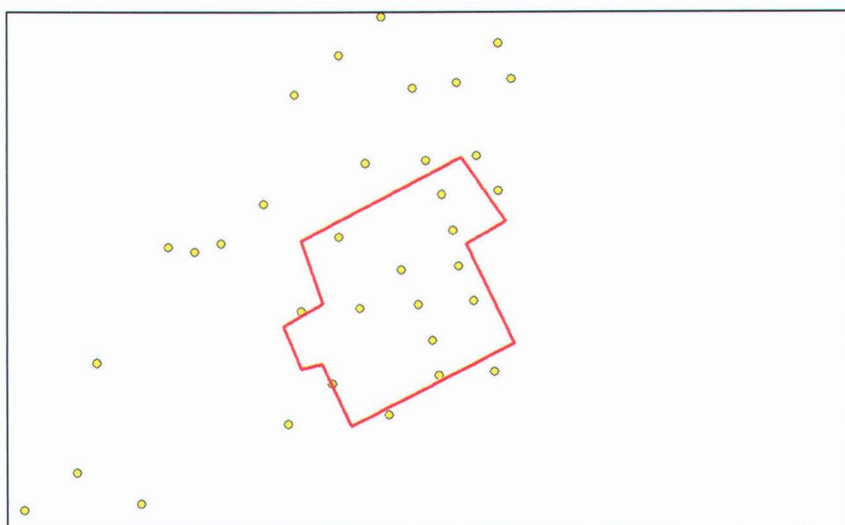


รูปที่ 3.26 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร

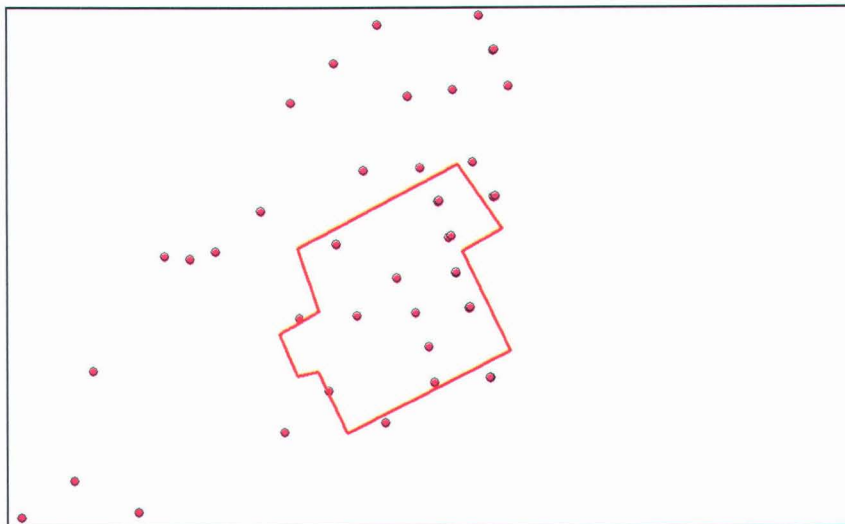


รูปที่ 3.27 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร

วิธีการเลือกข้อมูล LiDAR บนชั้นข้อมูลอาคาร ที่ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร เช่นเดียวกันกับที่ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร จากรูปที่ 3.23 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และ แนวบินที่ 2 บนชั้นข้อมูลอาคาร จากนั้นทำการสร้าง buffer บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ให้ ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และ แนวบินที่ 2 ที่อยู่ในรัศมี 10 เซนติเมตร และถ้ามีจุดที่ใกล้กันมากกว่า 1 จุดให้เลือกจุดที่ใกล้ที่สุดเพียงจุดเดียวให้สัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.28 และ 3.29

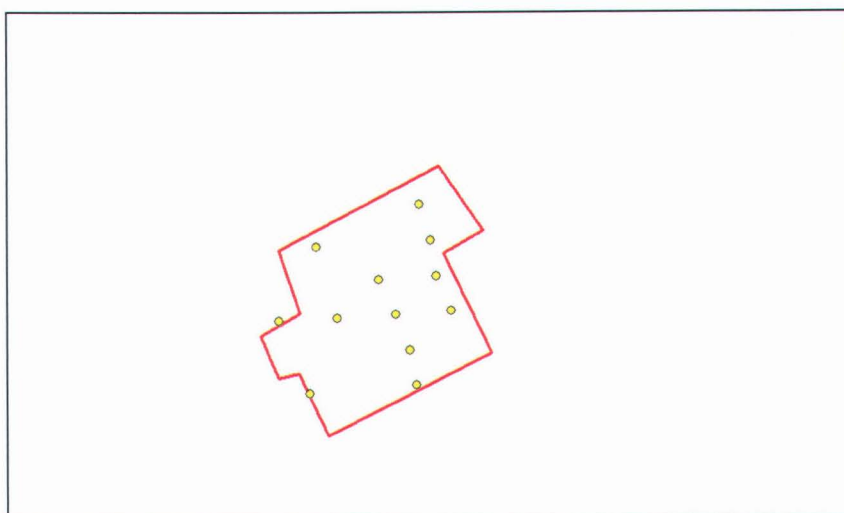


รูปที่ 3.28 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งแนวบิน

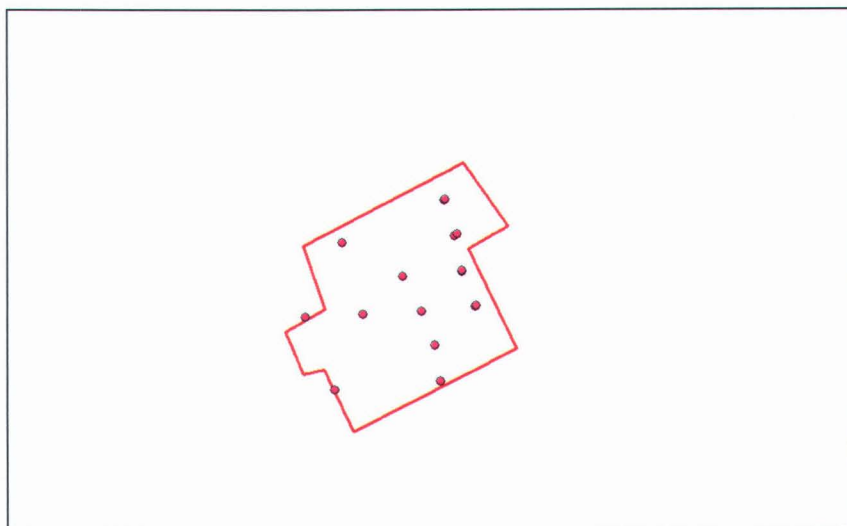


รูปที่ 3.29 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งแนวนอน

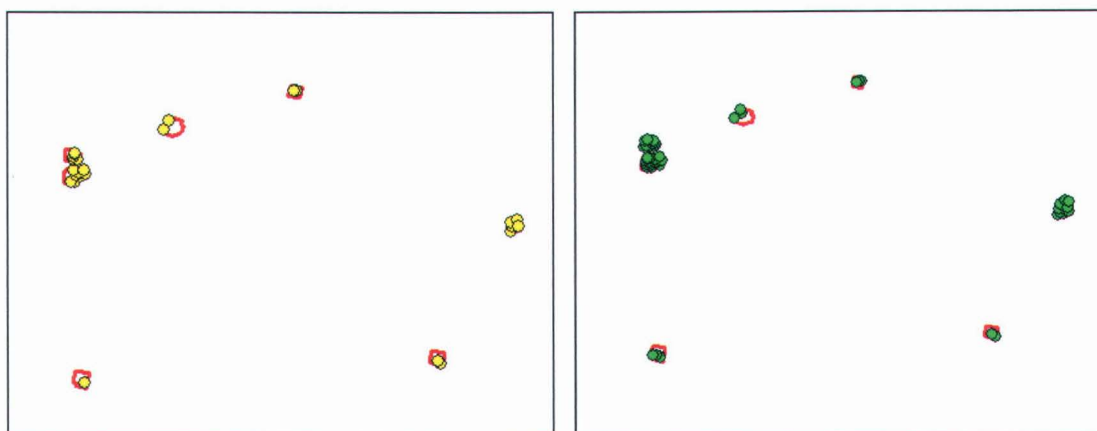
และเช่นเดียวกับวิธีการเลือกข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร คือ เมื่อได้ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตรทั้งแนวนอนที่ 1 และแนวนอนที่ 2 จึงทำการเลือกข้อมูล LiDAR ที่อยู่บนชั้นข้อมูลอาคารเท่านั้นโดยการเลือกข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร ทั้งแนวนอนที่ 1 และแนวนอนที่ 2 ให้ intersect กับชั้นข้อมูลอาคารที่ได้สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศที่หาขอบวัตถุ บนโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 จะทำให้ได้ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 1 และ แนวบินที่ 2 ที่อยู่ในรัศมี 10 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 3.30 และ 3.31



รูปที่ 3.30 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่1 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร



รูปที่ 3.31 ข้อมูล LiDAR แนวบินที่ 2 ระยะห่างจุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร



(ก) ข้อมูล LiDAR ระยะห่างจุด 5 เซนติเมตร

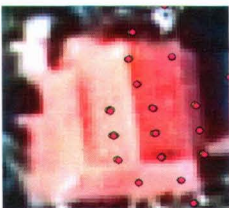
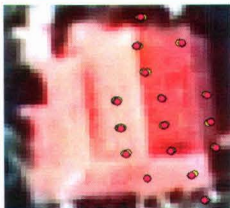
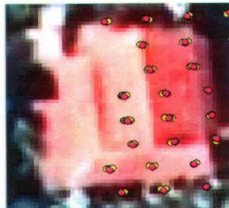
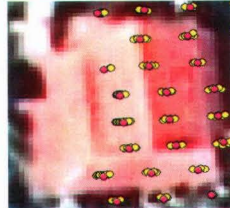
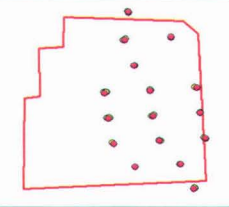
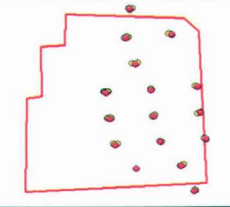
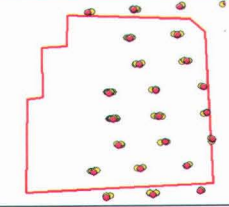
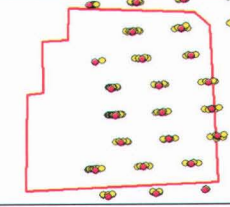
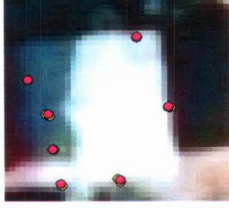
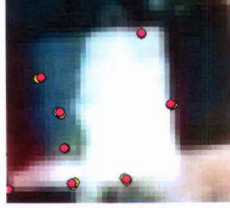
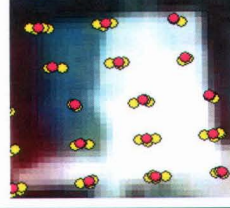
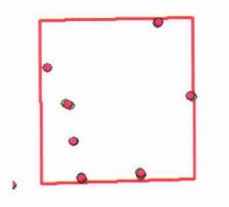
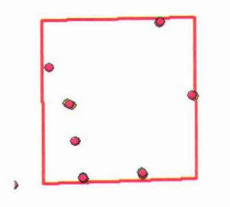
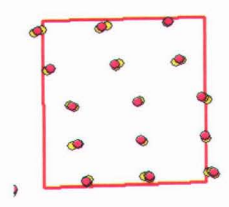
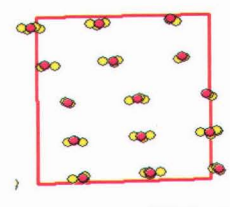
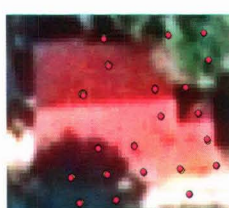
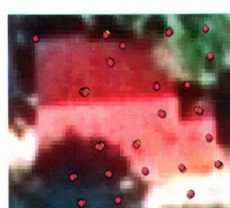
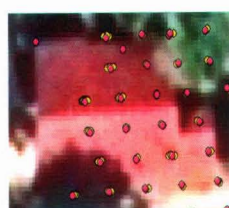
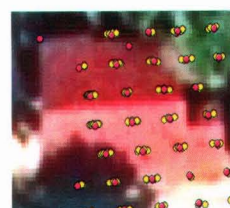
(ข) ข้อมูล LiDAR ระยะห่างจุด 10 เซนติเมตร

รูปที่ 3.32 ข้อมูล LiDAR ทั้งสองแนวบินที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร บนชั้นข้อมูลอาคาร

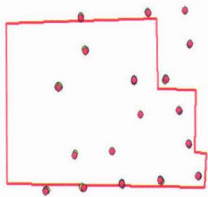
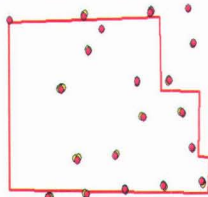
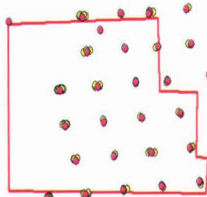
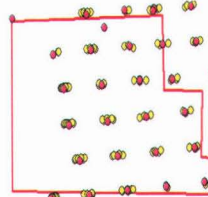
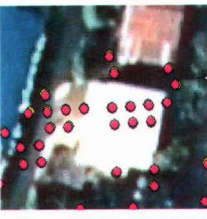
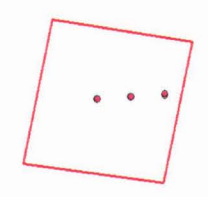
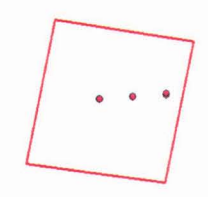
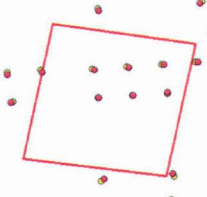
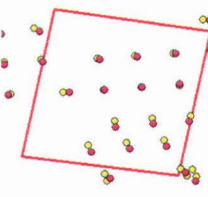
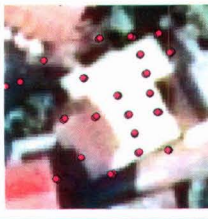
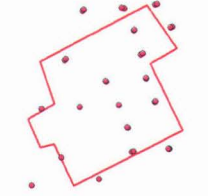
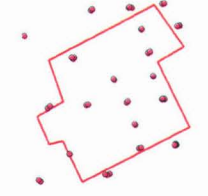
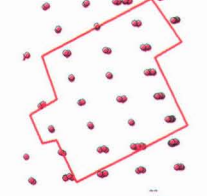
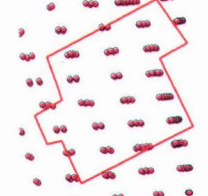
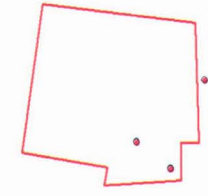
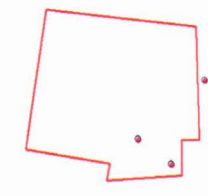
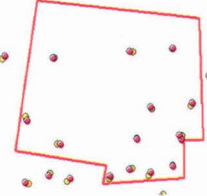
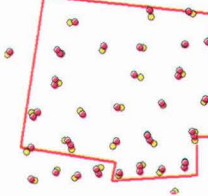
ดังนั้น จากรูปที่ 3.32 จะทำให้ได้จุดข้อมูล LiDAR บนอาคารที่ระยะห่างระหว่างจุดที่ระยะ 5 เซนติเมตรตามรูป (ก) และที่ระยะห่างระหว่างจุดที่ระยะ 10 เซนติเมตรตามรูป (ข) เมื่อได้ข้อมูล LiDAR ตามที่งานวิจัยต้องการจึงทำการพิจารณาค่าความสูงของข้อมูล LiDAR ที่เลือกพิจารณาเพื่อนำค่าความสูง ข้อมูล LiDAR ไปพิจารณาปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางด้านความสูงระหว่างแนวกบินต่อไป

3.6.3 เปรียบเทียบการเลือกจุดระหว่างแนวกบินจากภาพถ่ายทางอากาศและชั้นข้อมูลอาคาร งานวิจัยนี้วิเคราะห์และเลือกจุดในแนวกแน X และ Y ที่มีระยะใกล้เคียงกันซึ่งจะพิจารณา จุดระหว่างแนวกบินทั้งสองแนวกบินที่มีความต่างในแนวกแน X และ Y โดยได้ทำการเลือกจุด ที่ ระยะห่างระหว่างแนวกบินที่ระยะ 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร และใช้ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณพื้นที่อาคาร โดยทำการหาขอบอาคารและสร้างชั้นข้อมูลอาคาร เพื่อช่วยในการพิจารณา ระยะห่างระหว่างจุด ซึ่งได้แสดงระยะห่างของจุดตามรูปที่แสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

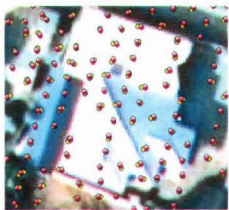
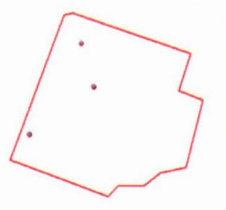
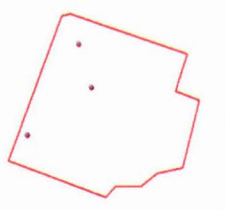
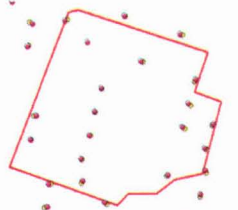
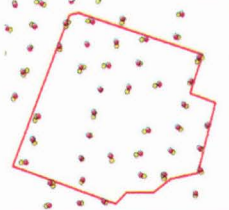
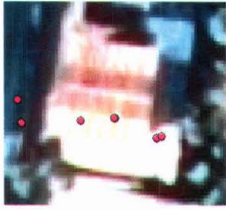
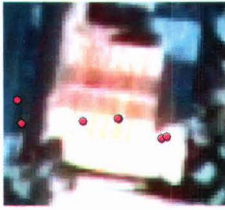
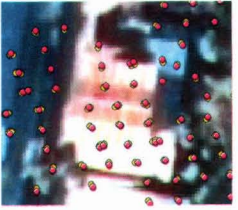
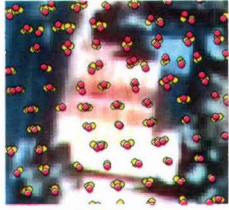
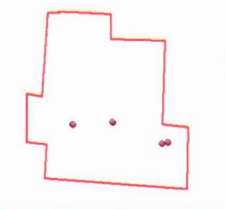
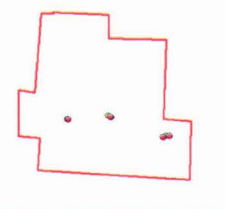
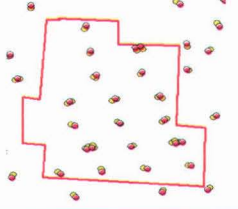
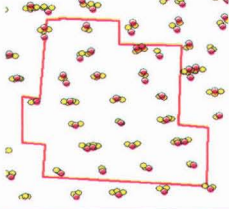
ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวกบินที่ระยะ 15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร

อาคาร	15 เซนติเมตร	20 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร	50 เซนติเมตร
B1				
B1-E				
B2				
B2-E				
B3				

ตารางที่ 3.2 ข้อมูล LIDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวนั้นที่ระยะ 15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร (ต่อ)

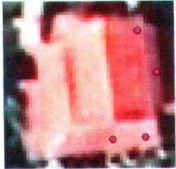
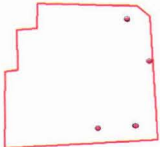
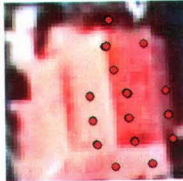
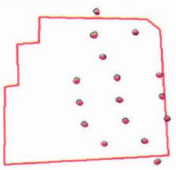
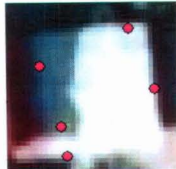
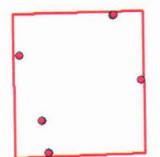
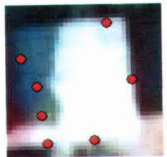
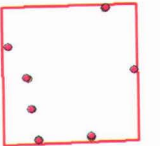
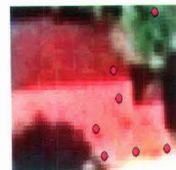
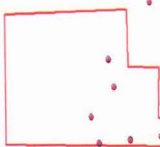
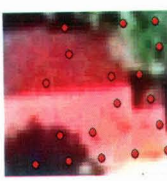
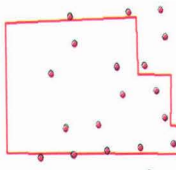
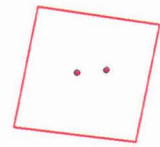
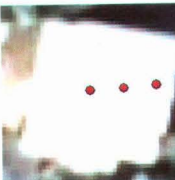
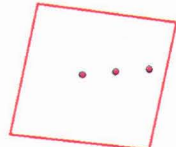
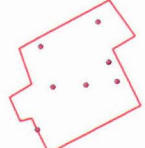
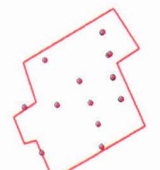
อาคาร	15 เซนติเมตร	20 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร	50 เซนติเมตร
B3-E				
B4				
B4-E				
B5				
B5-E				
B6				
B6-E				

ตารางที่ 3.2 ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวนอนที่ระยะ 15, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร (ต่อ)

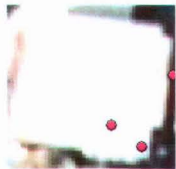
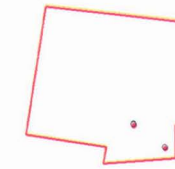
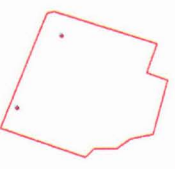
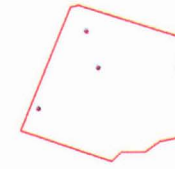
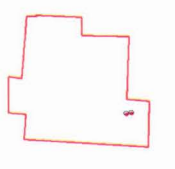
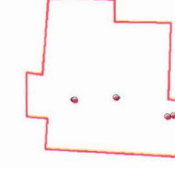
อาคาร	15 เซนติเมตร	20 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร	50 เซนติเมตร
B7				
B7-E				
B8				
B8-E				

จากตารางที่ 3.2 เป็นตารางแสดงข้อมูล LiDAR บนภาพถ่ายทางอากาศ และชั้นข้อมูลอาคารที่ได้จากการสร้างขอบวัตถุพื้นที่อาคารซึ่ง B1 ถึง B8 คือ อาคารหลังที่ 1 ถึง อาคารหลังที่ 8 จากภาพถ่ายทางอากาศ และ B1-E – B8-E คือ ชั้นข้อมูลอาคารที่ได้สร้างจากขอบวัตถุอาคารหลังที่ 1 ถึง หลังที่ 8 ได้แสดงการเลือกข้อมูล LiDAR อย่างถูกต้องและชัดเจน ซึ่งการใช้ชั้นข้อมูลอาคารนั้น จะทำให้สามารถเลือกจุดข้อมูล LiDAR ได้ง่ายและชัดเจนกว่าใช้ภาพถ่ายทางอากาศ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวมินที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร

อาคาร	5 เซนติเมตร (Photograph)	5 เซนติเมตร (ชั้นข้อมูลอาคาร)	จุด	10 เซนติเมตร (Photograph)	10 เซนติเมตร (ชั้นข้อมูลอาคาร)	จุด
B1			4			13
B2			5			7
B3			6			11
B4			2			3
B5			7			12

ตารางที่ 3.3 ข้อมูล LiDAR ที่ระยะห่างระหว่างแนวนอนที่ระยะ 5 และ 10 เซนติเมตร (ต่อ)

อาคาร	5 เซนติเมตร (Photograph)	5 เซนติเมตร (ชั้นข้อมูลอาคาร)	จุด	10 เซนติเมตร (Photograph)	10 เซนติเมตร (ชั้นข้อมูลอาคาร)	จุด
B6			2			2
B7			2			3
B8			2			4

จากตารางที่ 3.2 และ 3.3 สามารถเปรียบเทียบได้ว่าการเลือกจุดข้อมูล LiDAR ระหว่างแนวนอนจากภาพถ่ายทางอากาศและชั้นข้อมูลอาคารนั้น การเลือกข้อมูล LiDAR จากภาพถ่ายทางอากาศสามารถเลือกข้อมูลได้แต่ก็ไม่ชัดเจน ซึ่งมีปัญหาในการเลือกบริเวณขอบอาคารที่คาบเกี่ยวกันและก็มี ความจำกัดในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมากซึ่งจะต้องทำการเลือกจุดข้อมูลจากโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 เพื่อจะให้ทราบพิกัดซึ่งไม่สามารถทำพร้อมกันได้ครั้งละหลายจุดข้อมูล ซึ่งทำได้เพียงครั้งละข้อมูลเท่านั้น แต่การเลือกจุดจากชั้นข้อมูลอาคารที่สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศที่หาขอบอาคารนั้นสามารถเลือกจุดจากโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ได้ทุกข้อมูลที่อยู่ในชั้นข้อมูลอาคารทั้งหมด ทำให้สามารถหาพิกัดของข้อมูล LiDAR พร้อมกันและเป็นการช่วยลดขั้นตอนในการเลือกจุดอีกด้วย

3.6.4 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแนวกบิน ที่ระยะห่างระหว่างจุด ไม่เกิน 5 และ 10

เซนติเมตร

ตารางที่ 3.4 ค่าความสูงระหว่างแนวกบิน ระยะห่างระหว่างจุด 5 เซนติเมตร

Building	แนวกบินที่ 1			แนวกบินที่ 2		
	X1 (m)	Y2 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)
B1	683125.92	1618404.59	17.2200	683125.93	1618404.63	17.1300
B1	683129.11	1618404.82	17.2300	683129.06	1618404.82	17.1600
B1	683130.24	1618411.08	20.5200	683130.24	1618411.07	20.4000
B1	683128.44	1618415.18	20.7800	683128.46	1618415.16	20.7600
B2	683134.47	1618407.33	17.0500	683134.50	1618407.36	16.7900
B2	683134.07	1618409.35	17.3100	683134.10	1618409.39	17.2100
B2	683132.76	1618413.48	17.2000	683132.77	1618413.51	17.2200
B2	683140.21	1618411.91	17.5200	683140.22	1618411.89	17.4900
B2	683138.55	1618416.05	16.7400	683138.54	1618416.01	16.9600
B3	683134.91	1618426.29	17.4800	683134.96	1618426.29	17.3600
B3	683131.75	1618426.05	17.4900	683131.75	1618426.08	17.4300
B3	683128.52	1618425.81	17.5400	683128.56	1618425.78	17.3600
B3	683127.71	1618427.83	18.1900	683127.72	1618427.85	18.0400
B3	683130.08	1618430.10	18.9600	683130.10	1618430.11	18.8300
B3	683129.59	1618432.21	18.8300	683129.58	1618432.18	19.0100
B4	683480.87	1618229.33	17.3200	683480.89	1618229.36	17.1700
B4	683478.14	1618231.25	17.6100	683478.12	1618231.29	17.3300
B5	683547.75	1618357.30	17.9300	683547.75	1618357.28	17.8100
B5	683548.18	1618365.54	18.1100	683548.14	1618365.52	18.0500
B5	683549.33	1618361.54	18.4300	683549.31	1618361.52	18.3600
B5	683552.64	1618361.69	19.2000	683552.60	1618361.72	19.1500
B5	683553.93	1618367.93	18.1800	683553.91	1618367.92	18.1900
B5	683554.93	1618363.89	19.0000	683554.88	1618363.89	19.0600
B5	683555.69	1618361.97	19.0700	683555.71	1618361.93	18.7800
B6	683339.81	1618491.78	20.5200	683339.77	1618491.78	20.4000
B6	683342.36	1618491.97	20.6200	683342.33	1618491.93	20.5100
B7	683214.90	1618454.77	18.6000	683214.91	1618454.75	18.6800
B7	683220.38	1618463.62	19.3200	683220.39	1618463.61	19.3800
B8	683138.05	1618209.84	20.4600	683138.06	1618209.84	20.3400
B8	683138.51	1618209.98	16.9600	683138.55	1618209.97	16.7500

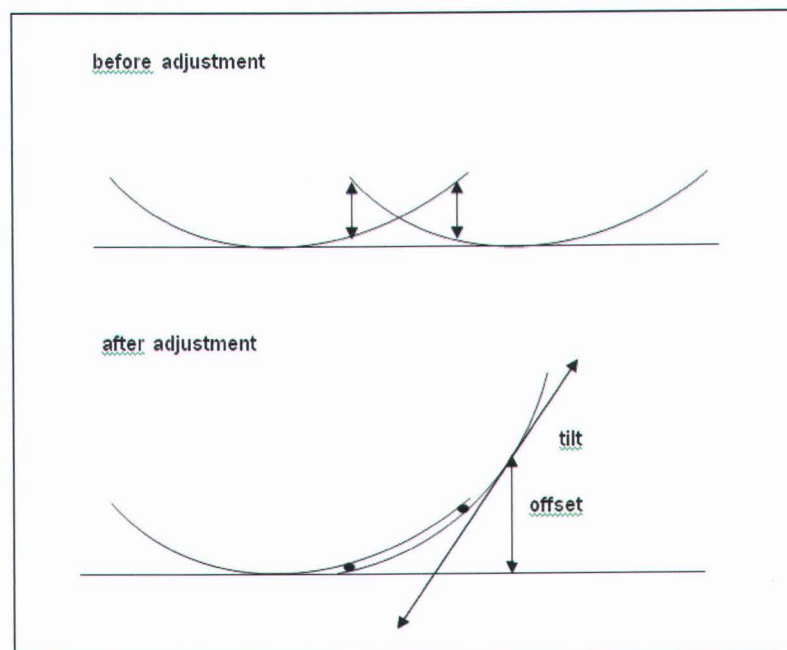
ตารางที่ 3.5 ค่าความสูงคลาดเคลื่อนระหว่างแนวกบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร

Building	แนวกบินที่ 1			แนวกบินที่ 2		
	X1 (m)	Y2 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)
B1	683123.83	1618410.60	20.6800	683123.84	1618410.69	20.6700
B1	683124.07	1618408.51	20.6700	683124.04	1618408.58	20.6500
B1	683124.43	1618406.48	20.6900	683124.37	1618406.52	20.7000
B1	683125.24	1618414.93	21.1000	683125.30	1618415.01	21.0700
B1	683125.92	1618404.59	17.2200	683125.93	1618404.63	17.1300
B1	683125.85	1618412.86	21.1300	683125.90	1618412.89	21.1200
B1	683127.00	1618410.82	21.2000	683126.96	1618410.91	21.1400
B1	683127.17	1618408.73	21.2000	683127.09	1618408.74	21.1500
B1	683127.59	1618406.70	21.2100	683127.64	1618406.77	21.1400
B1	683128.44	1618415.18	20.7800	683128.46	1618415.16	20.7600
B1	683129.11	1618404.82	17.2300	683129.06	1618404.82	17.1600
B1	683130.24	1618411.08	20.5200	683130.24	1618411.07	20.4000
B1	683130.45	1618408.99	20.4900	683130.48	1618409.06	20.4300
B2	683134.47	1618407.33	17.0500	683134.50	1618407.36	16.7900
B2	683134.07	1618409.35	17.3100	683134.10	1618409.39	17.2100
B2	683132.76	1618413.48	17.2000	683132.77	1618413.51	17.2200
B2	683140.21	1618411.91	17.5200	683140.22	1618411.89	17.4900
B2	683133.82	1618411.43	17.5200	683133.89	1618411.37	17.4600
B2	683138.55	1618416.05	16.7400	683138.54	1618416.01	16.9600
B3	683134.91	1618426.29	17.4800	683134.96	1618426.29	17.3600
B3	683131.75	1618426.05	17.4900	683131.75	1618426.08	17.4300
B3	683128.52	1618425.81	17.5400	683128.56	1618425.78	17.3600
B3	683134.14	1618428.31	18.1500	683134.17	1618428.24	17.9400
B3	683127.71	1618427.83	18.1900	683127.72	1618427.85	18.0400
B3	683124.54	1618427.60	18.1800	683124.59	1618427.67	18.0100
B3	683133.34	1618430.37	18.1300	683133.37	1618430.32	18.2400
B3	683130.08	1618430.10	18.9600	683130.10	1618430.11	18.8300
B3	683129.59	1618432.21	18.8300	683129.58	1618432.18	19.0100
B3	683123.23	1618431.74	18.8500	683123.24	1618431.82	18.9600
B3	683125.52	1618434.02	18.0700	683125.56	1618434.06	18.1600
B3	683125.13	1618436.12	17.4200	683125.12	1618436.20	17.4500

ตารางที่ 3.5 ค่าความสูงระหว่างแนวกบิน ระยะห่างระหว่างจุด 10 เซนติเมตร (ต่อ)

Building	แนวกบินที่ 1			แนวกบินที่ 2		
	X1 (m)	Y2 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)
B4	683480.87	1618229.33	17.3200	683480.89	1618229.36	17.1700
B4	683478.14	1618231.25	17.6100	683478.12	1618231.29	17.3300
B5	683546.10	1618361.33	17.4700	683546.04	1618361.35	17.7800
B5	683547.75	1618357.30	17.9300	683547.75	1618357.28	17.8100
B5	683548.18	1618365.54	18.1100	683548.14	1618365.52	18.0500
B5	683549.33	1618361.54	18.4300	683549.31	1618361.52	18.3600
B5	683551.55	1618363.63	18.6800	683551.63	1618363.69	18.7000
B5	683552.64	1618361.69	19.2000	683552.60	1618361.72	19.1500
B5	683553.36	1618359.76	18.8400	683553.36	1618359.69	18.6300
B5	683553.93	1618367.93	18.1800	683553.91	1618367.92	18.1900
B5	683554.47	1618365.92	18.5300	683554.56	1618365.91	18.5500
B5	683554.93	1618363.89	19.0000	683554.88	1618363.89	19.0600
B5	683555.69	1618361.97	19.0700	683555.71	1618361.93	18.7800
B6	683339.81	1618491.78	20.5200	683339.77	1618491.78	20.4000
B6	683342.36	1618491.97	20.6200	683342.33	1618491.93	20.5100
B6	683344.88	1618492.15	20.7100	683344.88	1618492.08	20.6200
B7	683214.90	1618454.77	18.6000	683214.91	1618454.75	18.6800
B7	683221.72	1618459.44	20.2800	683221.77	1618459.36	20.3500
B7	683220.38	1618463.62	19.3200	683220.39	1618463.61	19.3800
B8	683130.93	1618211.44	20.5700	683130.86	1618211.43	20.4900
B8	683134.09	1618211.67	20.6700	683134.14	1618211.62	20.5800
B8	683138.05	1618209.84	20.4600	683138.06	1618209.84	20.3400
B8	683138.51	1618209.98	16.9600	683138.55	1618209.97	16.7500

3.7 การปรับแก้ด้วยลิสต์สแควร์



รูปที่ 3.33 แสดงภาพก่อนและหลังการปรับแนวบินระหว่างสองแนวมิน

จากรูปที่ 3.33 เป็นการปรับแก้แนวมินบนระนาบระหว่างแนวมินที่ 1 และแนวมินที่ 2 โดยการใช้สมการจากสมการที่ 2.25

$$\Delta H = a_s + b_s(X_{si} - X_s^c) + c_s(Y_{si} - Y_s^c) - a_t - b_t(X_{ti} - X_t^c) - c_t(Y_{ti} - Y_t^c)$$

เมื่อ

s = แนวมินที่ 1, t = แนวมินที่ 2

a_s = ระยะห่างความสูงของจุดศูนย์กลาง แนวมินที่ 1

b_s = แนวเอียงตามทิศทางการบินของเครื่องบิน แนวมินที่ 1

c_s = แนวเอียงตั้งฉากกับทิศทางการบินของเครื่องบิน แนวมินที่ 1

X_s^c, Y_s^c = จุดศูนย์กลางของแนวมินที่ 1

X_{si}, Y_{si} = ค่าพิกัด X และ Y ณ จุดใดๆ ของแนวมินที่ 1

a_t = ระยะห่างความสูงของจุดศูนย์กลาง แนวมินที่ 2

b_t = แนวเอียงตามทิศทางการบินของเครื่องบิน แนวมินที่ 2

c_t = แนวเอียงตั้งฉากกับทิศทางการบินของเครื่องบิน แนวมินที่ 2

X_t^c, Y_t^c = จุดศูนย์กลางของแนวมินที่ 2

X_{ti}, Y_{ti} = ค่าพิกัด X และ Y ณ จุดใดๆ ของแนวมินที่ 2

สามารถเขียนให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณีนี้ตามสมการที่ 2.14 เขียนได้เป็น

$$L_a = F(X_a)$$

Observations ΔH

Parameters $(a_s, b_s, c_s, a_t, b_t, c_t)$

Constants $(X_{st}, Y_{st}, X_s^c, Y_s^c, X_{ti}, Y_{ti}, X_t^c, Y_t^c)$

จัดรูปแบบสมการจากแบบจำลองเพื่อทำการคำนวณด้วยวิธีลีสทส์แควร์ให้อยู่ในรูปแบบสมการดังที่แสดงตามสมการที่ 2.19

$$V = AX + L$$

หลักการของลีสทส์แควร์คือต้องการให้ $V^T PV \rightarrow \text{Minimum}$

ทำการคำนวณค่าต่างๆ ตามกระบวนการดังนี้

- $N = A^T PA$
- $U = A^T PL$
- $X = -N^{-1}U$
- $X_a = X_0 + X$
- $L_a = L_0 + AX$
- $V = L_a - L_b$

เมื่อทำการคำนวณหาค่า ΔH คือค่าความสูงต่างระหว่างแนวนินที่ 1 และแนวนินที่ 2 จากความสัมพันธ์ของสมการระนาบ ในการหาสมการความสัมพันธ์ของการปรับค่าความสูงระหว่างแนวนินที่ 1 และแนวนินที่ 2 ให้มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างกันเท่ากับศูนย์ ในที่นี้จะใช้วิธีลีสทส์แควร์โดยวิธีสมการเงื่อนไข ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของแนวนินที่ 1 และแนวนินที่ 2 ก่อนการปรับแก้กับค่า ΔH มีความสัมพันธ์กัน สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$z_{PL_i} - z_{PR_i} = \Delta H \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่

z_{PL_i} = ค่าความสูงของจุดใดๆของแนวนินที่ 1

z_{PR_i} = ค่าความสูงของจุดใดๆของแนวนินที่ 2

ΔH = ค่าความสูงต่างระหว่างแนวนิน

จากสมการที่ (3.1) จะได้ว่า

$$z_{PL_i} - z_{PR_i} - \Delta H = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

รูปแบบในการปรับแก้ด้วยลีสทัสควอวิธีสมการเงื่อนไข เนื่องจากเรากำหนดให้ค่าความสูง ณ จุดใดๆ ของแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2 เป็นค่าสังเกต และ ΔH เป็นค่าคงที่ ดังนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณีนี้ตามสมการที่ 2.20 เขียนได้เป็น

$$F(L_a) = 0$$

Observations z_{PL_i}, z_{PR_i}

Parameters -

Constants ΔH

ทำการคำนวณค่าต่างๆ ตามกระบวนการดังนี้

- $M = BP^{-1}B^T$
- $K = -M^{-1}W$
- $V = P^{-1}B^T K$
- $L_a = L_b + V$

ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าความสูงแนวกบินที่ 1 และแนวกบินที่ 2 ที่มีความสัมพันธ์กับค่า ΔH ที่ได้จากสมการระนาบ