

การศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์

นายภูวชิต แฉล้มเขตต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF GRAPH THEORY APPROACH FOR FEATURE EXTRACTION FROM LIDAR DATA

Mr. Tuvachit Chalamkate

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Spatial Information System in Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูล
	ลักษณะวัตถุจากข้อมูลไคลดาร์
โดย	นายฐวิชิต แฉล้มเขตต์
สาขาวิชา	ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรเพชญ์ ชี้อนิธิไพศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล)

..... กรรมการ
(พันเอก ดร. กนก วีรวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุกิจ วิเศษสินธ์)

อุทิศ แฉล้มเขตต์: การศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะ
วัตถุจากข้อมูลไลดาร์(A STUDY OF GRAPH THEORY APPROACH FOR FEATURE
EXTRACTION FROM LIDAR DATA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร. ธงทิศ ฉายากุล
92 หน้า.

ในปัจจุบันข้อมูลไลดาร์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญเทคโนโลยีหนึ่งในการสำรวจและรั
นำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างไรก็ตาม จากการนำไปประยุกต์ใช้งานยังคงพบปัญหาที่
ประการหนึ่ง คือ ข้อมูลที่ได้จากไลดาร์เป็นข้อมูลที่บอกได้เพียงพิกัดในสามมิติ ทำให้เราสามารถ
เหล่านั้นไปใช้งานได้ทันที ต้องมีการวิเคราะห์และแปลตีความ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ประโยชน์
ตามแต่ละประเภทของการทำงาน การดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกจากข้อมูลไลดาร์ถือเป็นกระบวนการ
ที่จะช่วยให้การวิเคราะห์และแปลตีความข้อมูลทำได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ความรู้ที่ว่า
สมาชิกในปริภูมิจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน ทฤษฎีกราฟเป็นเทคนิควิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับ
ความสัมพันธ์เหล่านี้ได้ดี ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงนำทฤษฎีกราฟมาใช้ในการศึกษาโดยมี
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษารูปแบบและวิธีการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะ
ข้อมูลไลดาร์โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกลักษณะพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 7กรณีศึกษา คือ บ้านที่มีหลัง
แบบจั่ว บ้านที่มีการต่อเติมหลังคา ต้นไม้ อาคารที่มีหลังคาแบบ(shed) แปลงนา แปลงนาและต้นไ
ใหญ่ และลักษณะ บ้านที่อยู่ติดกันสองหลัง โดยการทดลองครั้งสุดท้ายจะนำผลที่ได้มาทำการ
เปรียบเทียบกันระหว่างจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกัน แล้วคำนวณเป็นค่าร้อยละ

ผลจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่า ได้รูปแบบและวิธีการนำทฤษฎีกราฟไปประยุกต์ใช้ใน
ข้อมูลได้ 1 รูปแบบ 2 ขั้นตอน และ 2 วิธี โดยขั้นตอนที่ 1 ใช้วิธีที่ 1 คือ กราฟต้นไม้ และ ขั้นตอน
ที่ 2 คือ cluster graph เมื่อพิจารณาแยกเป็นรายการกรณีศึกษาเปรียบเทียบจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกัน
จากกราฟกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่า กรณีที่ 1 มีจุดที่ตรงกัน 89.87% กรณีที่ 2 มีจุดที่ตรงกัน 89.18
% กรณีที่ 3 มีจุดที่ตรงกัน 60.50% กรณีที่ 4 มีจุดที่ตรงกัน 67.29% กรณีที่ 5 มีจุดที่ตรงกัน 100%
กรณีที่ 6 มีจุดที่ตรงกัน 93.10 และกรณีที่ 7 มีจุดที่ตรงกัน 73.07

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิศวกรรมลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2554

5170473121 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEYWORDS : LIDAR DATA / FEATURE EXTRACTION / GRAPH THEORY

TUVACHIT CHALAMKATE : A STUDY OF GRAPH THEORY APPROACH FOR FEATURE EXTRACTION FROM LIDAR DATA. ADVISOR : THONGTHIT CHAYAKULA Ph.D., 92 pp.

The lidar data was one of the key technologies in the exploration and surveying technology. However, the implementation in various fields of its application. To retrieve the Feature Extraction from LiDAR data is one of the methods that will provide analysis and interpretation of data quickly and easily. The knowledge which related in space related. Graph theory is a technique which used to present these relationships as well. Therefore, this study is to use graph theory .The objective was to study patterns and how to apply graph theory are applied to feature extraction from LiDAR data. This study has a total area of seven case studies are gable roof, an addition of a roof, tree, flat roof, tree and paddy rice plants and the two adjacent houses. The trail of the effects were compare match and mismatched then calculated as a percentage. For the last experiment. The results were compared between the matched and mismatched. Then calculated as a percentage.

The study found that the format and approach to the apply graph theory for feature extraction to the data a two-step model and two methods. In first step , use tree and second step use cluster graph. When considered as a case study which the mismatch and matching of data of graph and aerial photo. The indications of the case are as following that Case one has a corresponding 87.67%, Case 2 has a corresponding 89.18%, Case 3 had a corresponding 60.56%, Case 4 has a corresponding 67.29%, Case 5 corresponding to 100%, 6 Case has a corresponding 93.10%, and Case 7 matches with a corresponding 73.07%.

Department :Survey Engineering..... Student's Signature

Field of Study : Spatial Information System in Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับผู้วิจัย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรพชญ์ ชี้อินธิไพศาลประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พันเอก ดร.กนก วีรวงศ์ และ ดร.สุกิจ วิเศษสินธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และคณาจารย์ภาควิชาภูมิศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพาที่ดูแลช่วยเหลือและให้ความรู้มาตลอด

ขอขอบคุณ คุณศุภาวีร์ เปี่ยมด้วยธรรม สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนที่ดีมาโดยตลอด พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ขอมอบความดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา ญาติพี่น้องและคณาจารย์ทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลทั่วไปของระบบไลดาร์ (LiDAR , Light Detection and Ranging).....	5
2.2 ข้อมูลไลดาร์ (point cloud).....	7
2.3 สามเหลี่ยม Delaunay (Delaunay Triangulation).....	8
2.3.1 Triangles of Planar Point Set.....	8
2.3.2 นิยามของสามเหลี่ยม Delaunay.....	9
2.4 ทฤษฎีกราฟและการประยุกต์ใช้ (Graph theory and Application).....	11
2.4.1 นิยามของกราฟ.....	11
2.4.2 กราฟต้นไม้ (Tree).....	12
2.4.3 การค้นหาในแนวกว้าง (Breadth first search , BFS).....	13
2.4.4 Cluster Graph	14
2.4.5 Topology	15
2.4.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	18
3.2 การเลือกพื้นที่ศึกษา.....	20
3.3 ขั้นตอนการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้.....	21
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 กรณีศึกษาที่ 1.....	28
4.2 กรณีศึกษาที่ 2.....	37
4.3 กรณีศึกษาที่ 3.....	45
4.4 กรณีศึกษาที่ 4.....	52
4.5 กรณีศึกษาที่ 5.....	58
4.6 กรณีศึกษาที่ 6.....	61
4.7 กรณีศึกษาที่ 7.....	64
4.8 ผลสรุปของกราฟ.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 ผลการศึกษา.....	80
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	83
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 5.1	แสดงผลสรุปของกราฟต้นไม้และ cluster graph ในแต่ละกรณีศึกษา.....	81
ตารางที่ 5.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าร้อยละของจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกันกับ ภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วยกราฟ.....	82

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบไลดาร์.....	5
ภาพที่ 2.2	การทำงานเบื้องต้นของระบบไลดาร์.....	6
ภาพที่ 2.3	แสดงการสะท้อนกลับของคลื่นเลเซอร์.....	7
ภาพที่ 2.4	แสดงตัวอย่างข้อมูล point cloud	8
ภาพที่ 2.5	(a) แสดงสามเหลี่ยมสองรูปที่ติดกัน โดยมีมุมที่เล็กที่สุดคือ 30 องศา ส่วนรูป (b) แสดงสามเหลี่ยมสองรูปที่ติดกันโดยมีมุมที่เล็กที่สุดเท่ากับ 60 องศา	9
ภาพที่ 2.6	แสดง Circum Circles จากจุด 3 จุดที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน.....	10
ภาพที่ 2.7	(a) แสดง Circum circles ที่มีจุดอยู่ภายใน (b) แสดง Circum circles ที่ไม่มีจุดอยู่ภายใน.....	10
ภาพที่ 2.8	แสดงตัวอย่างส่วนประกอบต่างๆของกราฟ.....	11
ภาพที่ 2.9	แสดงตัวอย่างของกราฟเดียวกัน (a) ที่เส้นขอบเป็นเส้นโค้ง และ (b) มีเส้นขอบที่เป็นเส้นตรง.....	12
ภาพที่ 2.10	แสดงตัวอย่างของกราฟต้นไม้	12
ภาพที่ 2.11	แสดงการทำงานของ BFS	14
ภาพที่ 2.12	แสดงส่วนประกอบของ Cluster graph แบบ Logical Frame โดย (a) คือ $C(v)$ และ (b) คือ $P(v)$	15
ภาพที่ 2.13	แสดงตัวอย่างของ Adjacency Matrix	16
ภาพที่ 3.1	ข้อมูลไลดาร์บริเวณ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี	18
ภาพที่ 3.2	ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี.....	19
ภาพที่ 3.3	แสดงตัวอย่างของโปรแกรม yEd Graph editor.....	20
ภาพที่ 3.4	แสดงตำแหน่งของกรณีศึกษาทั้ง 7 กรณี บนภาพถ่ายทางอากาศ.....	21
ภาพที่ 3.5	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	22
ภาพที่ 3.6	แสดงขั้นตอนการทำงานของ Graph Search Algorithm.....	23
ภาพที่ 3.7	แสดงความห่างของจุดที่สัมพันธ์กับความชันที่ใช้ โดย (a) คือ จุดสองจุดที่อยู่ห่างกัน และ (b) คือจุดสองจุดที่อยู่ค่อนข้างชิดกัน.....	24

	หน้า
ภาพที่ 3.8	แสดงตัวอย่างของ cluster graph 25
ภาพที่ 3.9	แสดงขั้นตอนการสร้าง cluster graph..... 26
ภาพที่ 4.1	แสดงกราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 1..... 28
ภาพที่ 4.2	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 1 29
ภาพที่ 4.3	แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 30
ภาพที่ 4.4	แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 31
ภาพที่ 4.5	แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 32
ภาพที่ 4.6	แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 33
ภาพที่ 4.7	แสดงกลุ่มที่ 5 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 34
ภาพที่ 4.8	แสดงกลุ่มที่ 6 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1..... 35
ภาพที่ 4.9	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 1..... 36
ภาพที่ 4.10	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 2 37
ภาพที่ 4.11	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 2 38
ภาพที่ 4.12	แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2..... 39
ภาพที่ 4.13	แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2 40
ภาพที่ 4.14	แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2..... 41
ภาพที่ 4.15	แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2..... 42
ภาพที่ 4.16	แสดงกลุ่มที่ 5 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2..... 43
ภาพที่ 4.17	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 2..... 44
ภาพที่ 4.18	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 3 45
ภาพที่ 4.19	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 3 46
ภาพที่ 4.20	แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3..... 47
ภาพที่ 4.21	แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3..... 48
ภาพที่ 4.22	แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3..... 49
ภาพที่ 4.23	แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3..... 50

ภาพที่ 4.24	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 3.....	51
ภาพที่ 4.25	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 4	52
ภาพที่ 4.26	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 4	53
ภาพที่ 4.27	แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4.....	54
ภาพที่ 4.28	แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4.....	55
ภาพที่ 4.29	แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4.....	56
ภาพที่ 4.30	แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4.....	57
ภาพที่ 4.31	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 4.....	58
ภาพที่ 4.32	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 5	58
ภาพที่ 4.33	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 5	59
ภาพที่ 4.34	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 5.....	60
ภาพที่ 4.35	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 6	61
ภาพที่ 4.36	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 6	62
ภาพที่ 4.37	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 6.....	63
ภาพที่ 4.38	แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 7	64
ภาพที่ 4.39	แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 7	64
ภาพที่ 4.40	แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7.....	65
ภาพที่ 4.41	แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7.....	66
ภาพที่ 4.42	แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7.....	67
ภาพที่ 4.43	แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 7.....	68
ภาพที่ 4.44	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 1.....	69
ภาพที่ 4.45	แสดงจุดที่ดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 1.....	69

	หน้า
ภาพที่ 4.46	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 2..... 70
ภาพที่ 4.47	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 2 71
ภาพที่ 4.48	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 3..... 72
ภาพที่ 4.49	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 3..... 72
ภาพที่ 4.50	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 4..... 73
ภาพที่ 4.51	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 4..... 74
ภาพที่ 4.52	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 5..... 75
ภาพที่ 4.53	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 6..... 76
ภาพที่ 4.54	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 6..... 76
ภาพที่ 4.55	แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 7..... 77
ภาพที่ 4.56	แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 7..... 78
ภาพที่ 4.57	แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ..... 79
ภาพที่ 4.58	แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ..... 79
ภาพที่ 4.44	แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ..... 65
ภาพที่ 4.45	แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ..... 65
ภาพที่ 5.1	แสดงการกระจายตัวของข้อมูลไคลดาร์..... 82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไลดาร์ในปัจจุบันนี้กลายเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีพื้นฐานชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล 3 มิติของพื้นผิวโลก อย่างไรก็ตามในขั้นตอนและตัวระบบของไลดาร์ให้รายละเอียดของข้อมูลได้เพียงในส่วนของข้อมูลทางเรขาคณิต แต่ ณ ตอนนี้อย่างมีความต้องการในเรื่องของการแปลตีความข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ (feature extraction) การจำแนกข้อมูลใน 3 มิติโดยกระบวนการต่างๆเหล่านี้มีขึ้นเพื่อเป้าหมายในการทำแผนที่และสารสนเทศภูมิศาสตร์ (F.Samadzadegan and S.Saeedi, 2009)

ข้อมูลที่ได้รับจากไลดาร์เรียกว่าข้อมูล point cloud ซึ่งได้มาจากระยะทางของแสงเลเซอร์จากอากาศยานไปกระทบวัตถุ รวมทั้งทิศทางและการเอียงตัวของอากาศยาน หลังจากนั้นจึงเกิดการประมวลผลร่วมกันระหว่างเครื่องรับและกำเนิดแสงเลเซอร์บนอากาศยาน รวมทั้ง GPS และ IMUs แปลงไปเป็นข้อมูลสามมิติจากพื้นที่ที่เราทำการสำรวจ โดยข้อมูลนี้จะเป็นพื้นฐานในการที่เราจะนำไปใช้งานต่อไป (J.C. Fernandez et al., 2007)

จากที่กล่าวมาข้างต้นหากเราต้องการที่จะนำข้อมูลจาก point cloud มาใช้ จะต้องมีการประมวลผลที่ช่วยในการวิเคราะห์และแยกแยะเพื่อจะดึงข้อมูลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งเราเรียกกระบวนการเหล่านี้ว่า การดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ (feature extraction) เนื่องจากข้อมูลไลดาร์นั้นจะเป็นข้อมูลที่ได้ทั้งข้อมูลที่เป็นพื้นผิวของภูมิประเทศจริงๆ และข้อมูลที่เป็นเรือนยอดของสิ่งปกคลุมดินต่างๆ รวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ DSM (Digital Surface Model) อย่างที่ทราบกันดีว่าข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM , Digital Elevation Model) สร้างมาจากข้อมูลไลดาร์ แต่เราไม่สามารถนำข้อมูลไลดาร์นั้นมาสร้างได้ทันทีจึงจำเป็นต้องมีการลบเอาส่วนที่เป็นเรือนยอดของสิ่งปกคลุมดินต่างๆ ออกไป ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งของการเกิดกระบวนการนี้ขึ้นมา

กระบวนการในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ (feature extraction) นั้นโดยทั่วไปจะเริ่มจากข้อมูลส่วนที่ไม่ใช่พื้นดินโดยผ่านกระบวนการที่ช่วยกรองข้อมูลเหล่านี้ออกมา ซึ่งจำนวนวิธีการและขั้นตอนที่ใช้ที่ปรับเปลี่ยนไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในส่วนของข้อมูลที่เชื่อมโยงกันได้ บางวิธีอาจใช้เพียงแค่ข้อมูลไลดาร์เพียงอย่างเดียว ขณะที่บางวิธีอาจมีการเพิ่มข้อมูลบางส่วนเข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ หรือ แผนที่ การดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ แบ่งตามลักษณะของวิธีที่ใช้งานได้เช่น วิธีการที่ใช้การสร้างแบบจำลองการพิจารณา (Model-driven) และ วิธีการที่พิจารณาจากข้อมูลไลดาร์โดยตรง (Data-driven) โดยที่ทั้งสองวิธีนี้อยู่ภายใต้

สมมติฐานที่จะกำหนดให้ได้ว่าบริเวณนั้นคือ สิ่งปกคลุมดิน ในท้ายที่สุดแล้วเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุแบ่งได้เป็น เรขาคณิต และ หลักสถิติเป็นความรู้ในเบื้องต้นที่เรานำมาใช้ แต่อย่างไรก็ตามในหลากหลายวิธีนั้นก็มีการรวมเอาเทคนิคที่แตกต่างกันออกไปนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกัน (J.Shan and C.K. Toth , 2009) โดยตัวอย่างของวิธีการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์นั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้ข้อมูลอื่นมาช่วยเสริมประกอบในการวิเคราะห์ การนำความรู้ทางโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) มาประยุกต์ใช้ โดยในแต่ละวิธีนั้นส่วนใหญ่มักจะมีขั้นตอนในการดำเนินการที่ค่อนข้างซับซ้อนและมากขึ้นตอน ปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาเทคนิคในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์โดยตรงเพื่อให้การทำงานในอนาคตนั้นมีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

ทฤษฎีกราฟนั้นจัดว่าเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ในปัจจุบันนั้นมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานในแขนงต่างๆมากมาย เป็นส่วนสำคัญในการจัดเก็บข้อมูลและอธิบายโครงสร้างเชิงพื้นที่เพื่ออธิบายส่วนต่างๆ ของข้อมูลภูมิศาสตร์ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล รวมทั้งการจัดการข้อมูลปริภูมิ (Laurini R. and Thompson D., 1994) ซึ่งหลังจากนั้นคุณสมบัติเหล่านี้สามารถแสดงได้ในระบบ GIS โดยแสดงเป็น จุด เส้น และพื้นที่รูปปิด ซึ่ง Theobald (2001) ได้เพิ่มในส่วนของการเชื่อมต่อกันระหว่างสิ่งต่างๆ ในทุกวันนี้มีการนำทฤษฎีกราฟไปประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลายและแตกต่างกันไปตามสาขาวิชา ซึ่งมักจะแสดงในรูปแบบของการเชื่อมต่อและความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกในปริภูมิ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้รวมทั้งปัญหาและข้อจำกัดต่างๆ เพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางในอนาคตสำหรับการพัฒนาเป็นเครื่องมือในการทำงานด้านนี้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษารูปแบบและวิธีการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้ เพื่อดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.1.1 ศึกษารูปแบบของกราฟที่เกิดขึ้นจากการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ

- 1.3.1.2 ข้อมูลลักษณะวัตถุในงานวิจัยนี้หมายความว่ารวมถึงวัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยเป็นวัตถุที่อยู่เหนือพื้นดินอย่างชัดเจน
- 1.3.1.3 กราฟที่นำมาใช้งานคือ กราฟระนาบ (planar graph) และการค้นหาด้วยกราฟ (graph search algorithm)
- 1.3.1.4 เลือกพื้นที่ศึกษาเพียงบางส่วนจากข้อมูลไลดาร์ทั้งหมดโดยเลือกจากวัตถุที่เกิดตามธรรมชาติ และ วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น
- 1.3.2 พื้นที่ในการศึกษา
พื้นที่ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- 1.4.1 ข้อมูลลักษณะวัตถุ (feature) หมายถึง ปรากฏการณ์หรือวัตถุต่างทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยแสดงลงบนแผนที่ด้วย จุด เส้น พื้นที่รูปปิด และตัวอักษร ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีตำแหน่งและอธิบายได้ด้วย สัญลักษณ์ สี และ ข้อมูลบรรยาย (attribute data) (Laurini R. and Thompson D. , 1994) สำหรับข้อมูลลักษณะวัตถุในงานวิจัยนี้หมายถึงข้อมูลที่เกิดขึ้นทั้งจากมนุษย์และธรรมชาติซึ่งอยู่เหนือพื้นดินอย่างชัดเจน
- 1.4.2 การดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ (feature extraction) ในงานวิจัยนี้หมายถึง การดึงข้อมูลที่อยู่เหนือพื้นดินอย่างชัดเจนออกมาจากข้อมูลไลดาร์
- 1.4.3 ข้อมูลไลดาร์ ในงานวิจัยนี้หมายถึง ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากระบบไลดาร์แสดงค่าพิกัดในสามมิติเรียกว่า point cloud

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ศึกษาข้อมูลและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟและการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์
- 1.5.3 วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบวิธีการใช้ทฤษฎีกราฟ ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์
- 1.5.4 ดำเนินงานวิจัยตามวิธีการและรูปแบบที่กำหนดตามข้อ 1.5.3
- 1.5.5 วิเคราะห์และประเมินผลการดำเนินงาน แก้ไขปรับปรุงงานจนเสร็จสมบูรณ์
- 1.5.6 สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงานการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้รูปแบบและวิธีการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์
- 1.6.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพและข้อจำกัดในการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์
- 1.6.3 เป็นแนวทางในการนำทฤษฎีกราฟไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นทางภูมิสารสนเทศ

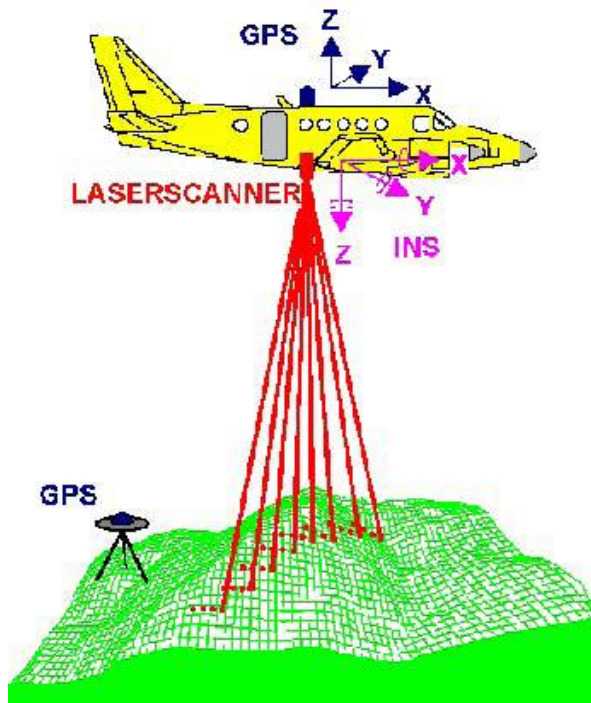
บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของระบบไลดาร์ (LiDAR , Light Detection and Ranging)

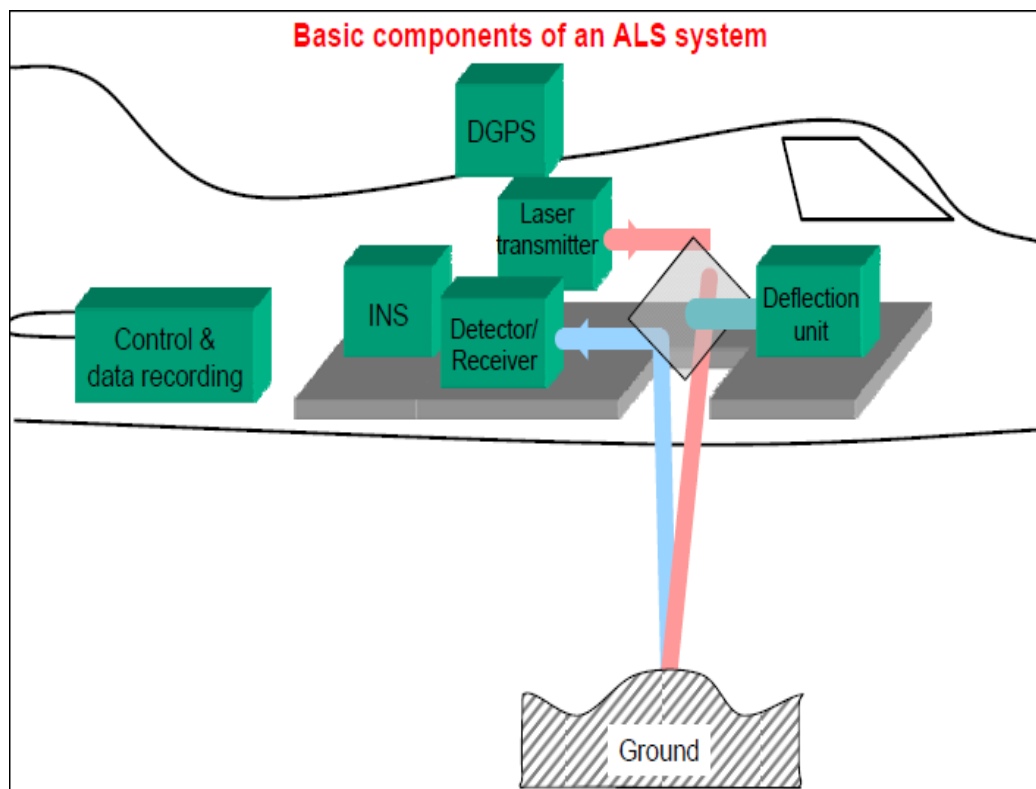
ไลดาร์เป็นเทคโนโลยีที่เหมือนกับระบบเรดาร์กล่าวคือเป็นระบบ active remote sensing ระบบนี้เป็นการสร้างคลื่นพลังงานแสงเลเซอร์ส่งไปยังวัตถุที่อยู่บนพื้นโลกและจับเวลาที่คลื่นแสงเลเซอร์กลับมาถึงเครื่องรับสัญญาณซึ่งจะคำนวณแล้วเปลี่ยนไปเป็นระยะทางระหว่างตัวรับสัญญาณและพื้นผิววัตถุต่างๆบนพื้นโลก ณ ขณะนั้น

สำหรับเทคโนโลยีไลดาร์ในปัจจุบันนั้นกำเนิดขึ้นมาพร้อมกับระบบที่เรียกว่า “Photogrammetric Aircraft” อุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมา คือ ระบบ GPS (Global Positioning System) และ IMU (Inertial Motion Unit) ความถี่ของคลื่นแสงเลเซอร์ 20,000 ถึง 50,000 pulse/วินาที , นาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง , คอมพิวเตอร์และระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความแม่นยำ และระบบที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล (Lillesand M.D. et al. , 2004) ส่วนประกอบต่างๆของไลดาร์อธิบายได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบไลดาร์ (Schmid K., 2008)

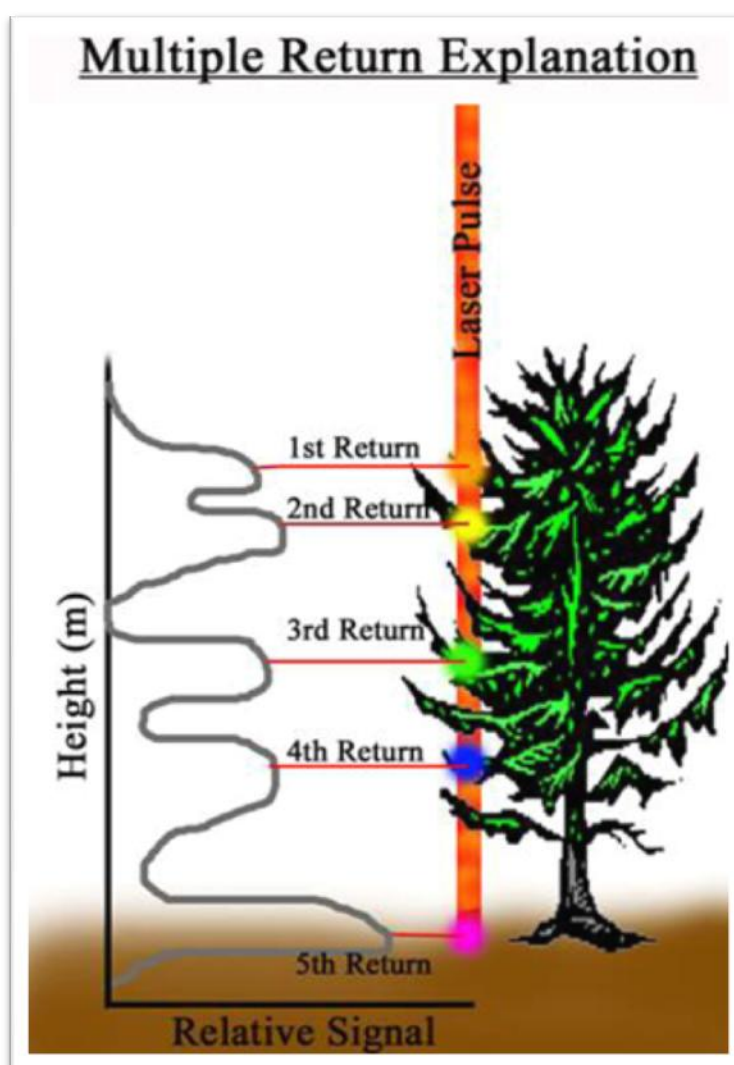
การทำงานของระบบไลดาร์จะมีเครื่องกำเนิดพลังงานและเครื่องรับรวมทั้งอุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ที่ติดตั้งอยู่กับอากาศยาน ขณะที่อากาศยานกำลังเคลื่อนที่ไปตามแนวบินจะส่งคลื่นจากเครื่องเลเซอร์สแกนที่เป็นลำแสงหรือ pulse ไปตกกระทบกับภูมิประเทศบริเวณที่เครื่องบินผ่าน โดยเครื่องกำเนิดพลังงานของไลดาร์สามารถส่งคลื่น (pulse) ได้มากกว่า 100,000 ลูกคลื่นต่อวินาที หลังจากนั้นตัวรับสัญญาณหรือ receiver จะทำหน้าที่รับคลื่นสะท้อนกลับมายังอากาศยาน โดยความหนาแน่นของจุดต่างๆ บนพื้นดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วของอากาศยาน อัตราการแกว่งของกระจก ความแตกต่างของระยะเวลาที่ลำแสงเลเซอร์ถูกปล่อยให้เดินทางจากอากาศยานตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ จนถึงเวลาที่ลำแสงสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวรับ -ส่งสัญญาณ ทำให้สามารถคำนวณระยะทางระดับความสูงต่ำของพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ในขณะที่เดียวกันจะทราบตำแหน่งของเครื่องบินจาก GPS (Global Positioning System) ทิศทางและการเอียงของอากาศยาน จาก IMU (Inertial Motion Unit) และมุม Scanning Angle ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้จะนำมาคำนวณร่วมกัน เพื่อหาตำแหน่งบนพื้นดิน ได้ทันที ผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดและประมวลผลจะเป็นค่าพิกัดในสามมิติของพื้นผิวโลก (3D position from Earth Surface) (Lillesand M.D. et al. , 2004) แสดงตามภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การทำงานเบื้องต้นของระบบไลดาร์ (Baltsavias E., 2008)

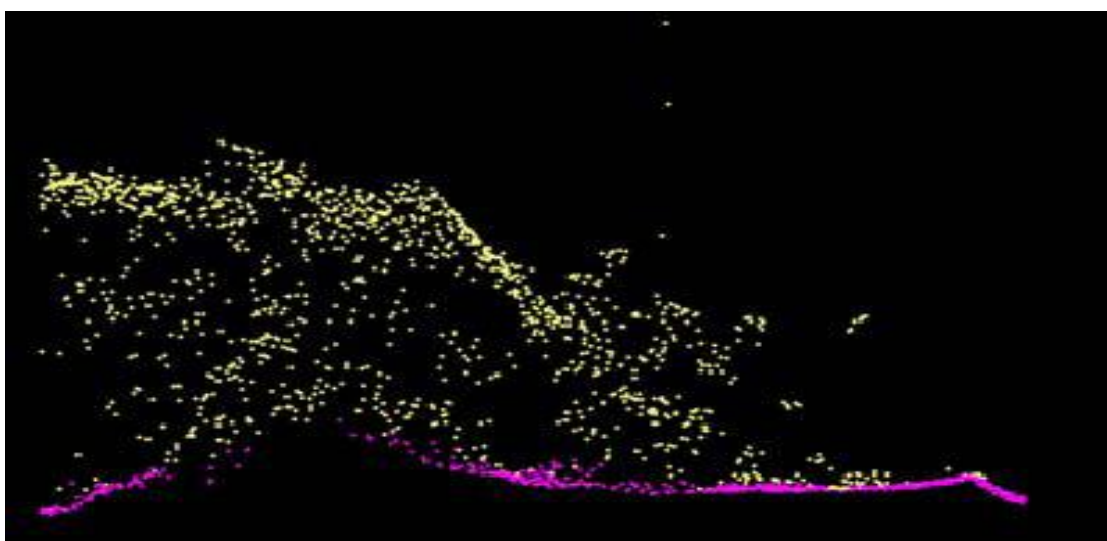
2.2 ข้อมูลไลดาร์ (point cloud)

การส่งคลื่นเลเซอร์จากอุปกรณ์กำเนิดพลังงานบนอากาศยานไปยังภูมิภาคประเทศจะมีคลื่นที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณคือ การสะท้อนกลับช่วงแรก (First return) , การสะท้อนกลับช่วงกลาง (Intermediate return) ,การสะท้อนกลับช่วงสุดท้าย (Last return) และ ความเข้ม (Intensity) ซึ่งเป็นจุดต่างๆ (Mass point) โดยความหนาแน่นของข้อมูลจุดเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับ มุมที่เครื่องเลเซอร์สแกนทำกับพื้นโลก (Scan Angle) จำนวนของคลื่นในแต่ละวินาทีที่ส่งไป (Pulse per second transmitted) ความเร็วของอากาศยาน และตัวอุปกรณ์กำเนิดพลังงานที่ติดตั้งใช้งาน (J.R. Jensen, 2007) แสดงตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการสะท้อนกลับของคลื่นเลเซอร์ (Baltsavias E., 2008)

ผลผลิตที่ได้จากระบบไลดาร์นั้นจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเพื่อความสะดวกที่จะนำไปใช้งาน โดยข้อมูลรูปแบบหนึ่งที่ได้จากไลดาร์นั้นจะเก็บอยู่ในรูปของ ASCII file ซึ่งประกอบไปด้วย วัน และ เวลาในการทำงาน ค่าพิกัด X,Y,Z ความเข้ม (Intensity) โดยข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากค่าสะท้อนของวัตถุต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิวโลก เช่น ต้นไม้ พื้นดิน อาคาร เป็นต้น ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จะเก็บอยู่ในรูปของจุดกระจัดกระจายกันไป เรียกว่า point cloud โดยมีความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง หรือ Vertical accuracy ในระดับเซนติเมตรที่ได้มาจากการประมวลผลร่วมกันระหว่างข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณ, GPS และ IMU ข้อมูล point cloud ของไลดาร์แสดงตามภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างข้อมูล point cloud (Baltsavias E., 2008)

จากภาพที่ 2.4 ในส่วนที่เป็นจุดลอยอยู่เหนือพื้นดิน คือ จุดที่เป็นบริเวณของสิ่งปกคลุมดิน ส่วนในจุดที่เกาะกลุ่มกับเส้นสีชมพู คือ จุดที่เป็นพื้นผิวของภูมิประเทศ

2.3 สามเหลี่ยม Delaunay (Delaunay Triangulation)

หลักการของ Delaunay Triangulation ได้ถูกนำเสนอโดย Boris Delaunay ในปี ค.ศ. 1934 ซึ่งมีหลักการคือ การสร้างวงกลมให้เส้นรอบวงผ่านจุดที่เชื่อมกัน 3 จุดของสามเหลี่ยม โดยไม่มีจุดใดๆ อยู่ภายในวงกลม

2.3.1 Triangles of Planar Point Set

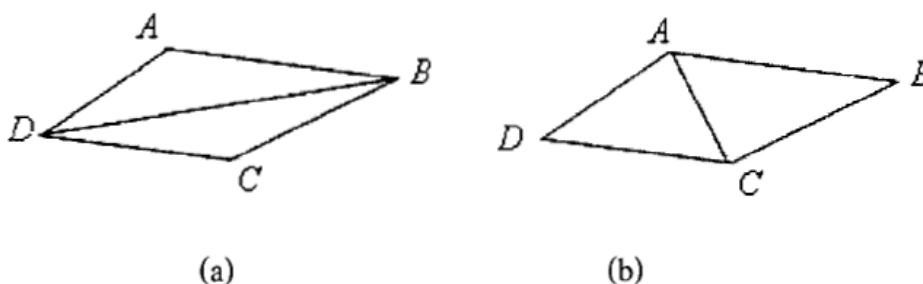
กำหนด S คือ จุด $(P_0, p_1, \dots, P_{n-1})$ เป็นกลุ่มของจุดบนระนาบ x, y การสร้างสามเหลี่ยมจากเซตของจุดดังกล่าว คือ การสร้างสามเหลี่ยมที่ถูกกำหนดโดย convex hull ของ S โดยเซตของจุดนั้นจะทำการสร้างสามเหลี่ยมได้หลายวิธี โดยทั่วไปมักจะไม่มีความสมบัติเฉพาะ

(Unique) แต่จำนวนขอบและสามเหลี่ยมเท่ากันสรุปเป็นทฤษฎีได้โดยให้ S เป็นเซตของ n จุดในระนาบโดยที่ m คือจำนวนจุดที่อยู่บนขอบของ Convex hull ซึ่งจะทำให้มีสามเหลี่ยมทั้งหมด $2n-2-m$ รูป และมีจำนวนขอบเท่ากับ $3n-3-m$

2.3.2 นิยามของสามเหลี่ยม Delaunay

นิยามของสามเหลี่ยม Delaunay คือ สามเหลี่ยมที่ถูกสร้างขึ้นจากจุด P ในระนาบ โดยจะเป็นสามเหลี่ยม Delaunay ได้ก็ต่อเมื่อไม่มีจุดอยู่ใน circum-circles ใดๆของสามเหลี่ยม Delaunay และจะต้องทำการ maximize minimum angles ในกระบวนการสร้างสามเหลี่ยม เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสามเหลี่ยมที่บาง (Skinny Triangles) สรุปเป็นคุณสมบัติสำคัญได้สองข้อคือ Angles optimal และ Empty Circles

-Angles Optimal คือ สามเหลี่ยมที่เกิดจากเซตของจุด p ที่เหมือนกันแต่สร้างสามเหลี่ยมที่แตกต่างกันสองภาพ จากจุด 4 จุด

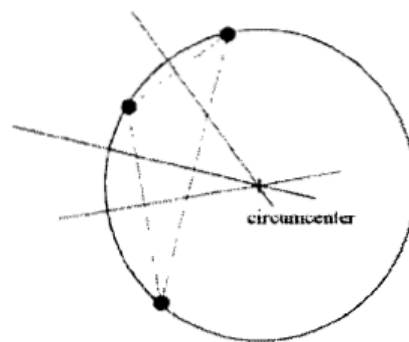


ภาพที่ 2.5 (a) แสดงสามเหลี่ยมสองแบบที่ติดกัน โดยมีมุมที่เล็กที่สุดคือ 30 องศา ส่วน (b) แสดงสามเหลี่ยมสองแบบที่ติดกัน โดยมีมุมที่เล็กที่สุดเท่ากับ 60 องศา (สุนันท์ ดันตขุน, 2550)

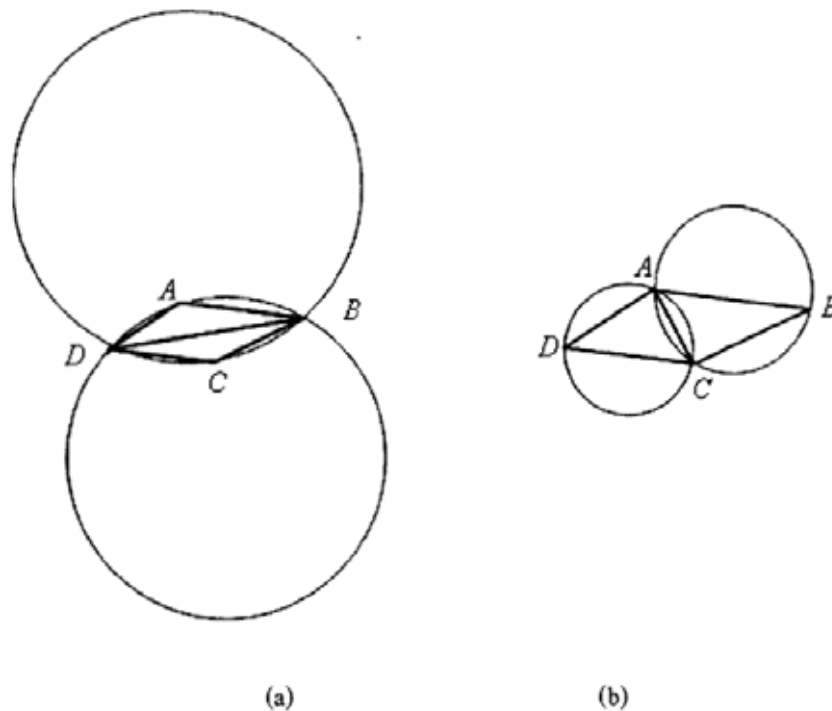
จากภาพที่ 2.5 จะพบว่ามุมที่เล็กที่สุดของสามเหลี่ยมสองอันดังรูป (b) มีขนาดโตกว่ามุมที่เล็กที่สุดของสามเหลี่ยมรูป (a) โดยเมื่อใดก็ตามที่เราทำ Maximize minimum angles ของสามเหลี่ยมแต่ละอันจะมีคุณสมบัติ Angles optimal ที่กล่าวโดยสรุปคือ การพยายามทำให้มุมแต่ละมุมของสามเหลี่ยมมีค่าเท่ากันมากที่สุด หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ให้มุมที่เล็กที่สุดมีค่าเท่ากับ 60 องศา ในภาพที่ 2.5 เราทำการ Angles optimal โดยเปลี่ยนขอบของสามเหลี่ยม BD ในภาพ (a) เป็น AC ในภาพ (b) แทน

-Empty Circles คือ การที่ Circum Circles ของจุด 3 จุดที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันที่ผ่านทั้ง 3 จุด โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เส้นตั้งฉากที่ลากออกมาจากแต่ละคู่ของจุดมาตัดกัน กลายเป็น Circum Center โดยแสดงตามภาพที่ 2.6

Circum Circles ที่สามารถเป็น Empty Circle ได้นั้นจะต้องมีจุดใด ๆ นอกเหนือจาก 3 จุดที่สร้าง Circum Circles ขึ้นมาอยู่ภายในแสดงดังรูปที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 แสดง Circum Circles จากจุด 3 จุดที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน (สุนันท์ ตันทชุน, 2550)



ภาพที่ 2.7 (a) แสดง Circum circles ที่มีจุดอยู่ภายใน (b) แสดง Circum circles ที่ไม่มีจุดอยู่ภายใน (สุนันท์ ตันทชุน, 2550)

จากภาพที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าหากสามเหลี่ยมใดก็ตามมีคุณสมบัติ Empty circles จะมีคุณสมบัติ Maximize minimum angles ไปด้วย

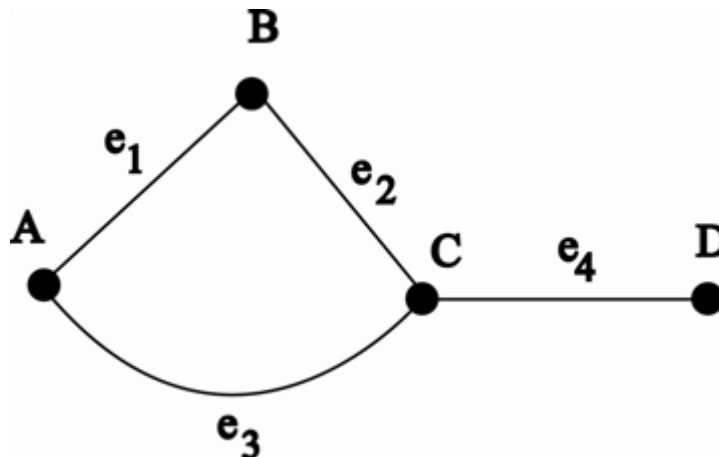
2.4 ทฤษฎีกราฟและการประยุกต์ใช้ (Graph theory and Applications)

แนวคิดเกี่ยวกับกราฟจัดอยู่ในประเภทของคณิตศาสตร์ดิสครีต (Discrete mathematics) และการประยุกต์ของกราฟสามารถนำไปแก้ปัญหาต่างๆที่สลับซับซ้อนได้มากมาย เช่น การนับจำนวนวิธีจัดหมู่ การใช้ข่ายงานในการแก้ปัญหา ซึ่งกราฟในที่นี้จะหมายถึงกราฟที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของจุดและเส้นที่เชื่อมโยงจุด เช่น แผนที่ ถนนที่เชื่อมโยงกันระหว่างเมืองต่างๆ แผนที่เส้นทางการบิน ฯลฯ โดยทฤษฎีกราฟมีนิยามดังต่อไปนี้

2.4.1 นิยามของกราฟ

กราฟ G ประกอบไปด้วยเซตจำกัดสองเซต คือ เซตของจุดยอด (vertex set) และเซตของขอบ (edge set) คือ เซตของเซตย่อยที่ประกอบด้วยเซตย่อยที่มีสมาชิก 2 ตัวของสมาชิกของเซตของจุดยอด ใช้ V แทน vertex และ E แทนขอบ โดย $V(G)$ แทนเซตของจุดยอดของกราฟ G และ $E(G)$ แทนเซตของขอบกราฟ G เขียนแทนโดยสัญลักษณ์ได้ว่า $G = (V, E)$

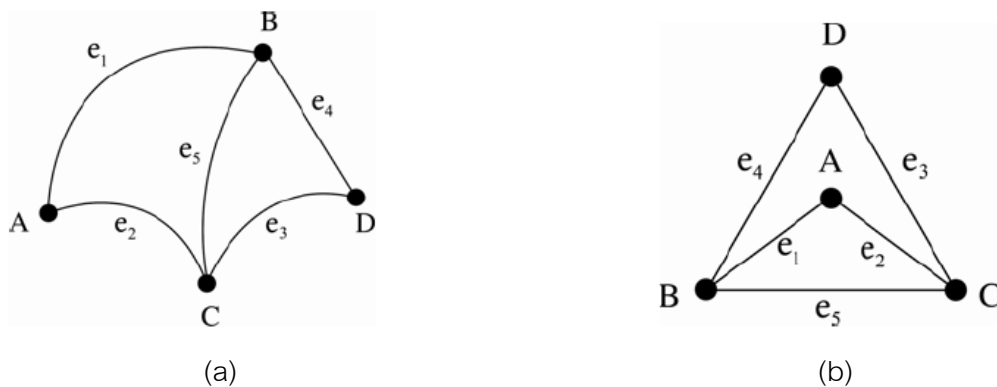
กำหนดกราฟ G ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบต่างๆของกราฟ (Bondy J.R. & U.S.R. Murty, 2008)

นิยาม จุดยอด U และ จุดยอด V ของกราฟ เป็นจุดยอดประชิด (Adjacent Vertices) ก็ต่อเมื่อมีเส้นเชื่อมระหว่างสองจุดและเรียก จุดยอด U และ V ว่าจุดปลาย (End Point) ของเส้นเชื่อมนั้น เส้นเชื่อม e ของกราฟ เกิดกับ (Incident) จุดยอด V ถ้าจุดยอด V เป็นจุดปลายจุดหนึ่งของเส้นเชื่อม

ในการเขียนแผนภาพของกราฟนั้น จะกำหนดตำแหน่งของจุดยอด ณ ตำแหน่งใดก็ได้และจะลากเส้นตรงหรือเส้นโค้งมีความยาวเป็นเท่าใดก็ได้โดยเส้นที่ลากจะไม่ตัดกับตัวมันเองและจะไม่ลากผ่านจุดยอดที่ไม่ใช่จุดยอดของเส้นนั้น เช่น กราฟตามภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของกราฟเดียวกัน (a) ที่เส้นขอบเป็นเส้นโค้ง และ (b) มีเส้นขอบที่เป็นเส้นตรง (Bondy J.R. & U.S.R. Murty, 2008)

2.4.2 กราฟต้นไม้ (Tree)

กราฟต้นไม้เป็นกราฟชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการประยุกต์ใช้งานทางด้านต่างๆ เช่น โครงสร้างของข้อมูลในวิชาคอมพิวเตอร์ การศึกษาโครงสร้างทางเคมี หรือการออกแบบวงจรไฟฟ้า และระบบอิเล็กทรอนิกส์

นิยาม กราฟต้นไม้ (Tree) คือ กราฟเชื่อมโยงที่ไม่มีวัฏจักร กล่าวคือ กราฟที่สองจุดยอดใดๆจะมีการเดินทางถึงกันเพียงวิถีเดียวแต่มีการเชื่อมต่อกันทั้งหมด



ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของกราฟต้นไม้ (Bondy J.R. & U.S.R. Murty, 2008)

ลักษณะเฉพาะของกราฟต้นไม้ (Tree characterization)

-ให้ T เป็นกราฟที่ไม่มีวัฏจักร กราฟ T เป็นต้นไม้ก็ต่อเมื่อ จุดยอด 2 จุดใดๆใน T เชื่อมโยงกันได้ด้วยวิถีเพียงวิถีเดียว

-ให้ T เป็นกราฟที่มีจำนวนจุดยอดเป็น n จุด กราฟ T เป็นต้นไม้ก็ต่อเมื่อ กราฟ T ไม่มีวัฏจักร และมีเส้นเชื่อม $n-1$ เส้น

-ให้ T เป็นกราฟที่มีจำนวนจุดยอดเป็น n จุด กราฟ T เป็นต้นไม้ก็ต่อเมื่อ กราฟ T เป็นกราฟเชื่อมโยงและมีเส้นเชื่อม $n-1$ เส้น

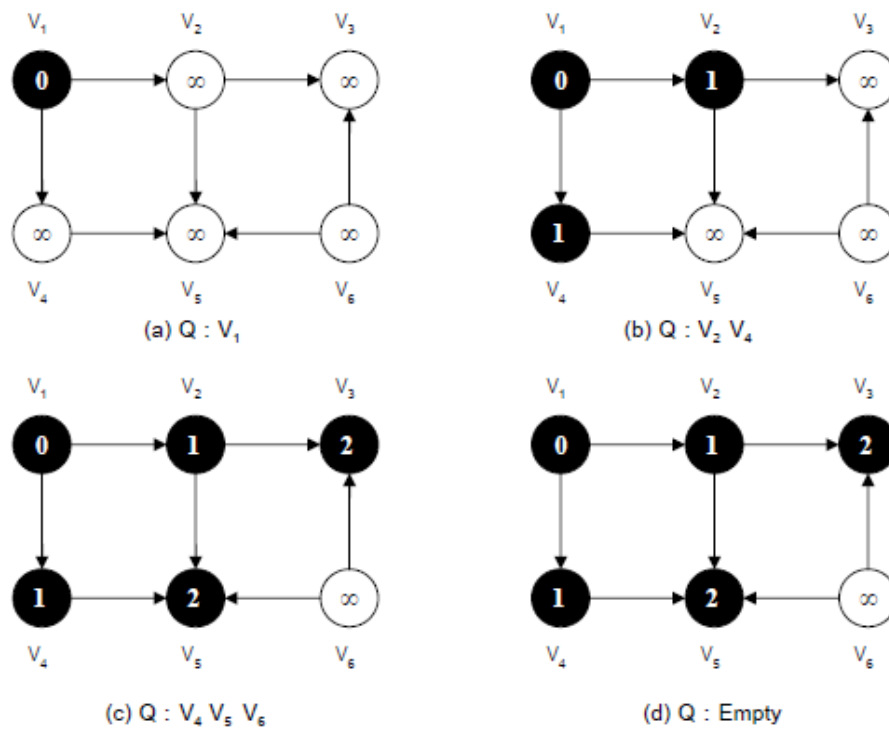
-ถ้า T เป็นต้นไม้ที่มีจุดยอดอย่างน้อย 2 จุด แล้ว กราฟ T จะมีดีกรี 1 อย่างน้อย 2 จุด

2.4.3 การค้นหาในแนวกว้าง (Breadth first search , BFS)

การค้นหาในแนวกว้างมีหลักการ คือ กำหนดจุดที่เป็นราก (Root) และกระจายจุดต่างๆจุดออกจากแต่ละลูกของรากจะกระจายไปตามจุดต่างๆเหล่านี้ นั่นคือจะต้องเชื่อมโยงไปยังจุดอื่นของลูกโดยไม่จัดให้จุดยอดใดๆมีการเชื่อมโยง 2 ครั้ง ดังนั้นจะไม่มีวัฏจักรเกิดขึ้น (Bondy J.R. & U.S.R. Murty, 2008)

-ขั้นตอนวิธีการค้นหาในแนวกว้าง

1. ใส่ V_1 ลงในแถว Q และ รูปต้นไม้เริ่มต้น T จะเป็นรูปต้นไม้ที่ต้องการหาโดยมี V_1 เป็นราก
2. ลบจุดยอดที่ข้างหน้าของแถว Q ออก โดยจุดยอด V ที่ถูกลบออกต้องมีเงื่อนไขดังนี้คือ ขอบ $\{V, V\} \in E$ เมื่อ $2 \leq l \leq n$ และ V ยังไม่เชื่อมโยงมาก่อน เขาขอบนี้เข้าไปใส่เป็นสมาชิกของ T ถ้าได้ทดสอบจุดยอดทุกๆจุดมาก่อนแล้ว ในแถว Q และไม่ได้รับขอบใหม่ ดังนั้นรูปต้นไม้ T คือ รูปต้นไม้แบบทอดข้าม ซึ่งมีอันดับตามกำหนดให้
3. บรรจุจุดยอดที่เชื่อมกับจุดยอด V แต่ละจุดที่ข้างหลังของแถว Q ทำตามลำดับของการเชื่อมโยง แล้วกลับไปปฏิบัติขั้นที่ 2



ภาพที่ 2.11 แสดงการทำงานของ BFS (Bondy J.R. & U.S.R. Murty, 2008)

2.4.4 Cluster Graph

Cluster Graph หมายถึงการจัดกลุ่มของ Vertices ในส่วนต่างๆซึ่งเราจะเรียกกระบวนการนี้ว่า Cluster เช่น การแบ่งส่วนต่างๆของ Vertex ออกเป็นกลุ่มตามความสัมพันธ์บางอย่าง บทนิยาม (Logical frame , Focus Vertex) ให้ $Q = (V_1, V_2, \dots, V_s)$ ของ Vertices ของกราฟ $G = (V, E)$ โดยที่กราฟย่อย (Subgraph) ของ G ซึ่งเกิดโดยการรวมกันระหว่าง $N(v_1), N(v_2), \dots, N(v_s)$ เรียกว่า Logical Frame $F = (G', Q)$, $G' = (V', E')$ และ

$$V' = \bigcup_{i=1}^s N(v_i) \quad E' = \{(u,v) \in E | u,v \in V'\}$$

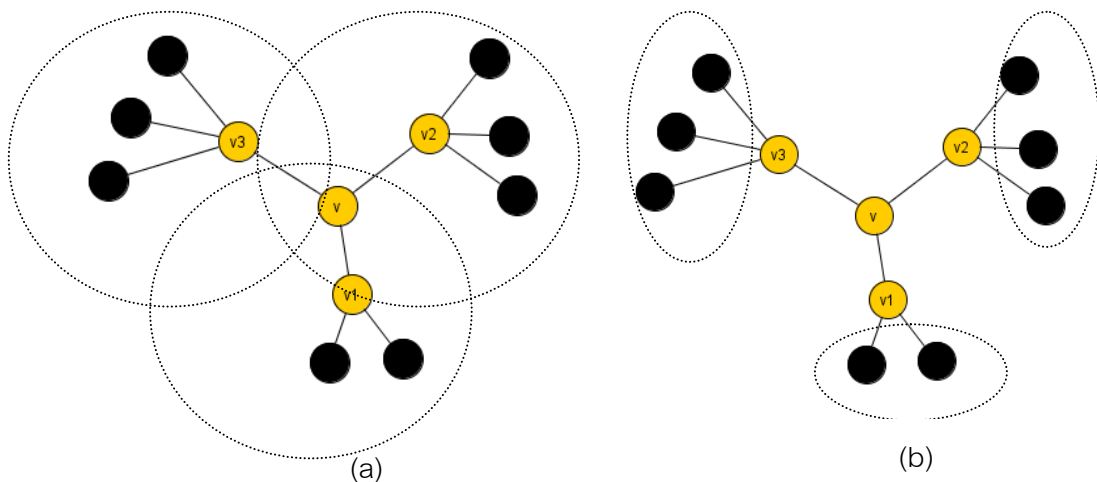
การแบ่งกลุ่ม (Clustering) กำหนดให้ $Q = (V_1, V_2, \dots, V_s)$ คือ คิวของของ Focus Vertices ใน G แต่ละ Neighborhood $N(v_i)$, สำหรับ $v \in Q$ ซึ่งแบ่งได้สองส่วน คือ ส่วนของ $C(v)$ และ ส่วนที่เป็น Local part $P(v)$ ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้ (M. Kaufman & D. Wagner, 2001)

- $C(v)$ คือ ส่วนของ Neighborhood ของ $N(v)$ ที่อยู่ในความสัมพันธ์ของ Focus Vertex ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$C(v_j) = \bigcup_{i=1, i \neq j}^S N(v_j \cap v_i)$$

-P(v) คือ ส่วนของ Neighborhood ของ N(v) ที่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ Focus Vertex $v' \neq v$ อธิบายได้ตามเซตต่อไปนี้

$$P(v_j) = N(v_j) - \bigcup_{i=1, i \neq j}^S N(v_i)$$



ภาพที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของ Cluster graph แบบ Logical Frame โดย (a) คือ C(v) และ (b) คือ P(v)

2.4.5 Topology

Topology เป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์ เสนอโดย Leonard Euler ซึ่งสนใจความสัมพันธ์ทางกายภาพของวัตถุที่ไม่แปรเปลี่ยนไปภายใต้การทำให้เสียรูป เช่น การยืด (rubber sheet) ความสัมพันธ์ทางกายภาพ ได้แก่ การติดกัน (adjacency), การร่วมเส้น (colinearity), การเชื่อมต่อ (connectivity) (Michael, 1995)

Topology คือส่วนสำคัญในงานวิจัยทางด้าน GIS ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการระบุ feature ในระบบภูมิสารสนเทศโดยความสัมพันธ์ทาง Topology นั้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกต่างๆที่บรรจุอยู่ใน software GIS ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมโยงกันของ feature ได้ในขั้นต้น (Theobald, 2001) ดังนั้นเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ในเบื้องต้นเพื่อนำไปสร้างกราฟจึงต้องนำความรู้ในเรื่องของ Topology มาใช้ร่วมด้วย

Adjacency Matrix คือการนำคุณสมบัติทาง Topology มาจัดเก็บในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยมีนิยามดังต่อไปนี้คือ

1. ถ้ากราฟ G มีทั้งหมด N node matrix ที่ได้จะเป็น square matrix ขนาด $N \times N$
2. Matrix $G(i,j)$
 - จะมีค่าเป็น 1 เมื่อมี edge เชื่อมโยงระหว่าง node
 - จะมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มี edge เชื่อมโยงระหว่าง node (Michael, 1995)

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของ Adjacency Matrix

2.3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีกราฟนั้นจัดว่าเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ในปัจจุบันนั้นมีการนำไปประยุกต์ใช้งานในแขนงต่างๆมากมายซึ่งในข้อเท็จจริงแล้วมีผู้เขียนอีกหลายท่านที่มีอยู่ส่วนหนึ่งเลยที่นำเป็นส่วนสำคัญในการจัดเก็บข้อมูลและอธิบายโครงสร้างเชิงพื้นที่เพื่ออธิบายส่วนต่างๆของข้อมูลภูมิศาสตร์รวมทั้งการจัดการข้อมูลปริภูมิ (Laurini and Thompson, 1992) ซึ่งหลังจากนั้นคุณสมบัติเหล่านี้ก็สามารถแสดงได้ในระบบ GIS โดยแสดงเป็น จุด เส้น และพื้นที่รูปปิด ซึ่ง Theobald (2001) ได้เพิ่มในส่วนในเรื่องการเชื่อมต่อกันระหว่างสิ่งต่างๆหรือ adjacency ในทุกวันนี้ทฤษฎีกราฟมีการนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายแตกต่างกันไปตามสาขาวิชาซึ่งมักจะแสดงในรูปแบบของการเชื่อมต่อและความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกในปริภูมิ

ในปี ค.ศ. 1989 Floriani L.D. นำความรู้ทางทฤษฎีกราฟมาปรับใช้ในการอธิบายโครงสร้างข้อมูล CAD model เพื่อสะดวกในการจัดเก็บและค้นคืนข้อมูลโดยใช้รูปแบบของกราฟที่แสดงการเชื่อมต่อระหว่างสมาชิกในปริภูมิ โดยกำหนดให้แต่ละหน้าของแบบจำลองแทนด้วย

node และการเชื่อมต่อกันของแบบจำลองแทนด้วย edge ซึ่งในงานนี้สามารถอธิบายวัตถุที่มีความกลมวงตรงกลาง หรือมีวัตถุชนิดอื่นๆ ขึ้นอยู่ข้างบน (Floriani L.D., 1989)

ในปี ค.ศ. 2006. De Almeida J.P นำเอาความสัมพันธ์ทาง topology มาประยุกต์ใช้โดยใช้ทฤษฎีกราฟในการนำเสนอ เขาทำการสร้างสามเหลี่ยมจากข้อมูลไลดาร์โดยใช้หน้าของสามเหลี่ยมแทนด้วย node และการเชื่อมต่อของสามเหลี่ยมแทนด้วย edge ซึ่งรูปแบบของความสัมพันธ์จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แบ่งจากหน้าของสามเหลี่ยมที่เป็นแบบราบ และแบบชัน (steep) โดยแบ่งจากความชันซึ่งในการทดลองนี้แบ่งความชันออกเป็น 2 แบบเปรียบเทียบกัน คือ แบ่งที่ 60 องศา และอีกกรณีหนึ่งแบ่งที่ 45 องศา หลังจากการทดลอง (De Almeida J.P. et al., 2007) พบว่าการแบ่งความชันที่ 45 พบรายละเอียดของกราฟได้ดีกว่าในกรณีนี้ที่แบ่งความชันที่ 60 องศา โดยบทสรุปของการศึกษานี้สามารถอธิบายวัตถุที่มีความกลมวงตรงกลาง หรือมีวัตถุชนิดอื่นๆ ขึ้นอยู่ข้างบน เช่นเดียวกับการทดลองของ Floriani L.D.

ค.ศ. 2007 Rebecca T. et al. นำหลักการของสามเหลี่ยม Delaunay และ Voronoi Diagram มาประยุกต์ใช้ในการดึงข้อมูลไลดาร์ส่วนที่เป็นอาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยแบ่งกลุ่มของจุดที่อยู่ในเซลล์ออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความสูง และจุดที่เป็นพื้นราบ หลังจากนั้นจึงนำหลักการของ vector มาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองที่ได้จากการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมา

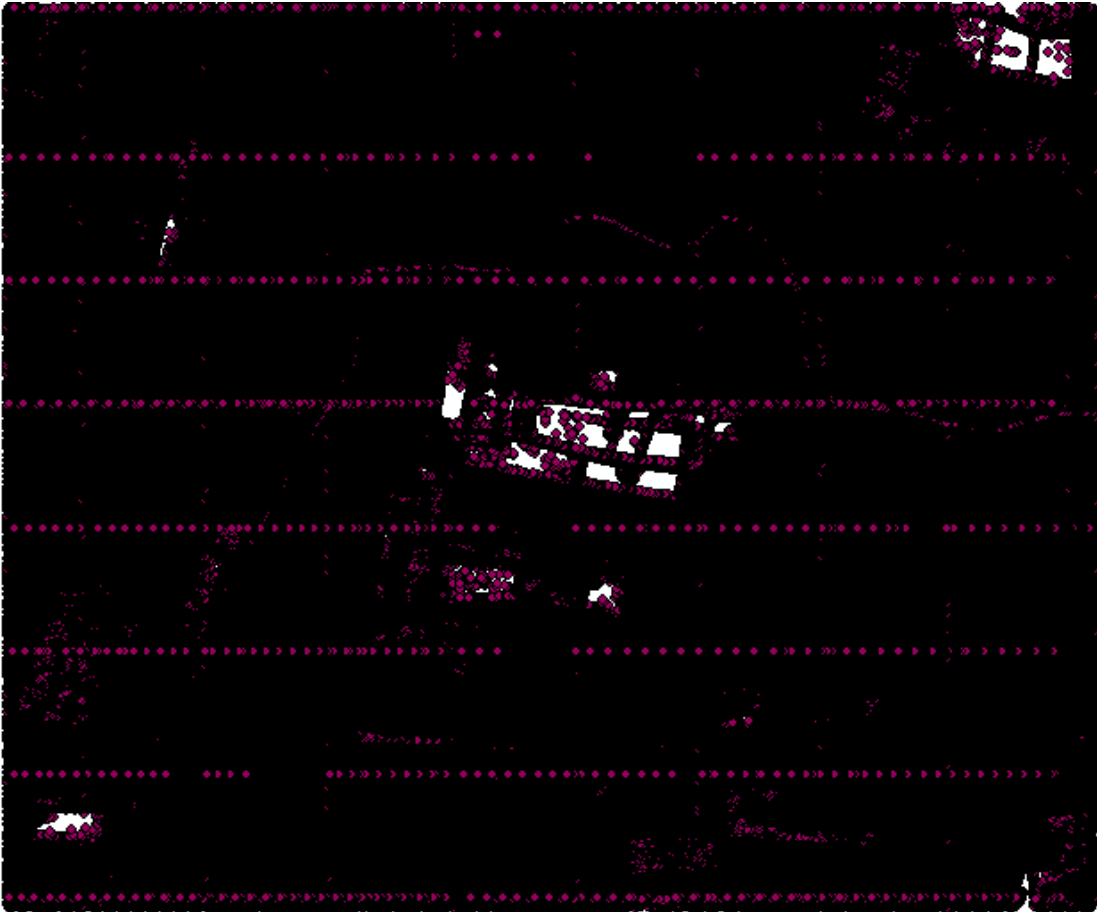
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย การเลือกพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ เพื่อดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์ และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่นำมาใช้โดยเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ

3.1 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ข้อมูลไลดาร์ ความหนาแน่นของจุด 3 จุดต่อ 2 เมตร



ภาพที่ 3.1 ข้อมูลไลดาร์บริเวณ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี

3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายตัดแก้ (Ortho Photo) บริเวณอำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี



ภาพที่ 3.2 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี

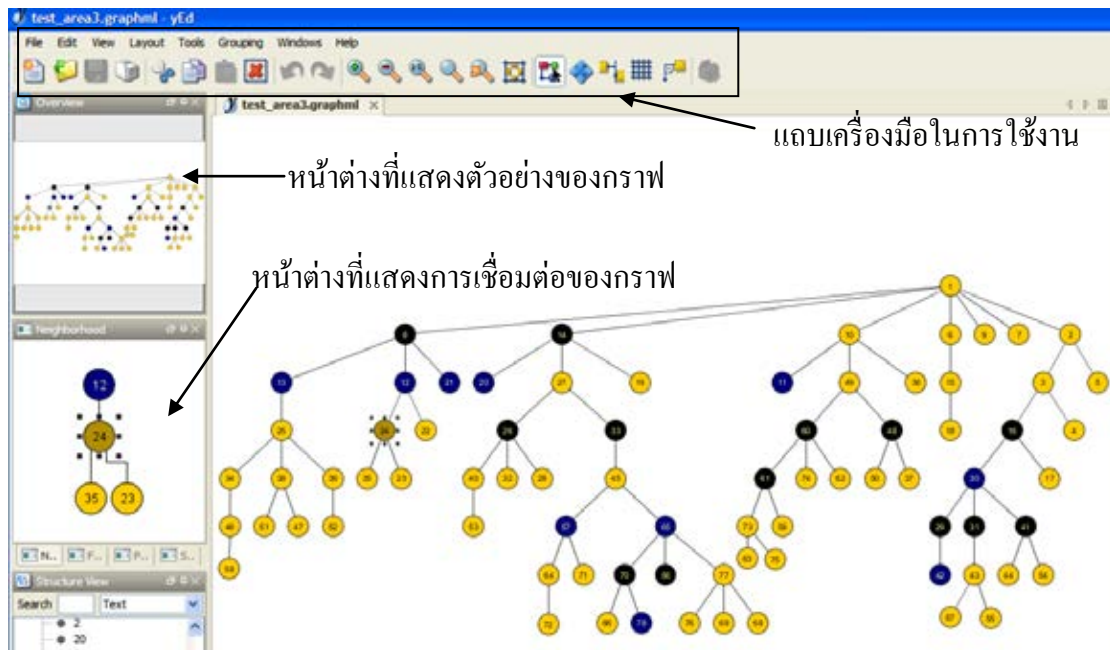
3.1.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

-ArcGIS 9.3 ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดของข้อมูล สร้างข่ายสามเหลี่ยม Delaunay และแสดงผล

-Microsoft Excel ใช้ในการหาความชันระหว่างจุด

-yEd Graph editor ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาด้วยภาษาจาวา ใช้สำหรับการสร้างกราฟและวิเคราะห์กราฟ

-Matlab 2007 ใช้ในการนำเสนอจุดของไลดาร์ที่ทำการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมา



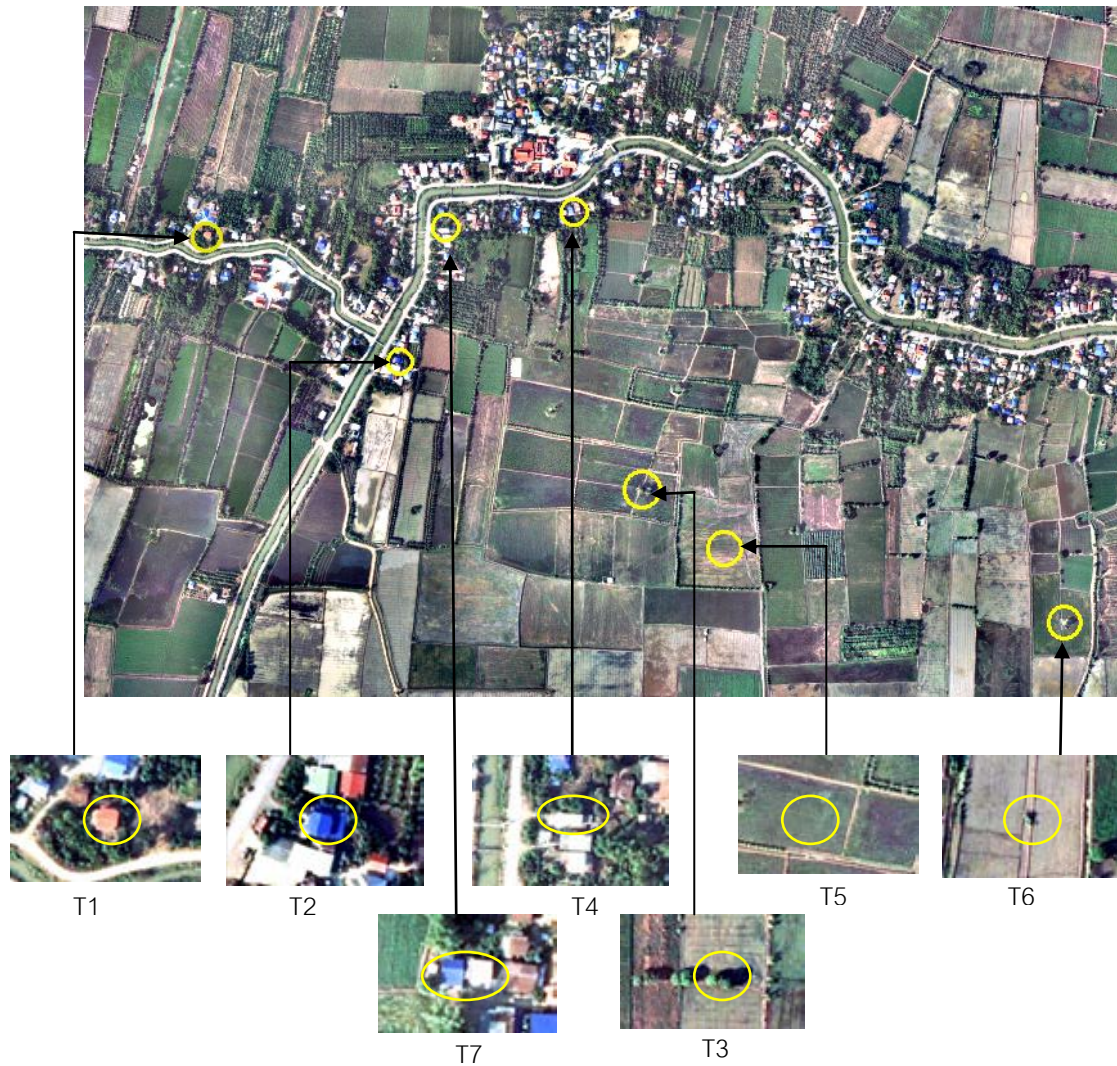
อธิบายสัญลักษณ์เพิ่มเติม

- —————> แสดงโหนดที่ความชันจากจุดอ้างอิงไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- —————> แสดงโหนดที่ความชันจากจุดอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เป็นบวก
- —————> แสดงโหนดที่ความชันจากจุดอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เป็นลบ

ภาพที่ 3.3 แสดงตัวอย่างของโปรแกรม yEd Graph editor

3.2 การเลือกพื้นที่ศึกษา

เลือกพื้นที่ศึกษาโดยเลือกจากภาพถ่ายทางอากาศเพื่อดูลักษณะอาคารหรือสภาพแวดล้อมเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลไลดาร์มาซ้อนทับเพื่อเลือกเฉพาะจุดที่อยู่บริเวณพื้นที่เป้าหมายมาใช้งาน โดยพื้นที่ศึกษาที่จะนำมาศึกษาแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ สิ่งปลูกสร้างทั้งหลายที่มนุษย์สร้างขึ้น และ สิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ แปลงนา ฯลฯ ซึ่งสาเหตุที่ต้องมีการแบ่งพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเราต้องการศึกษารูปแบบกราฟของวัตถุแต่ละชนิดว่ามีลักษณะเฉพาะอย่างไรบ้าง โดยพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 7 พื้นที่ได้แก่ บ้านหลังคาแบบจั่ว บ้านที่มีการต่อเติมหลังคา ต้นไม้ อาคารที่มีหลังคาแบบราบ แปลงนา ต้นไม้และแปลงนา บ้านสองหลังติดกัน โดยตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 กรณีแสดงตามภาพที่ 3.4

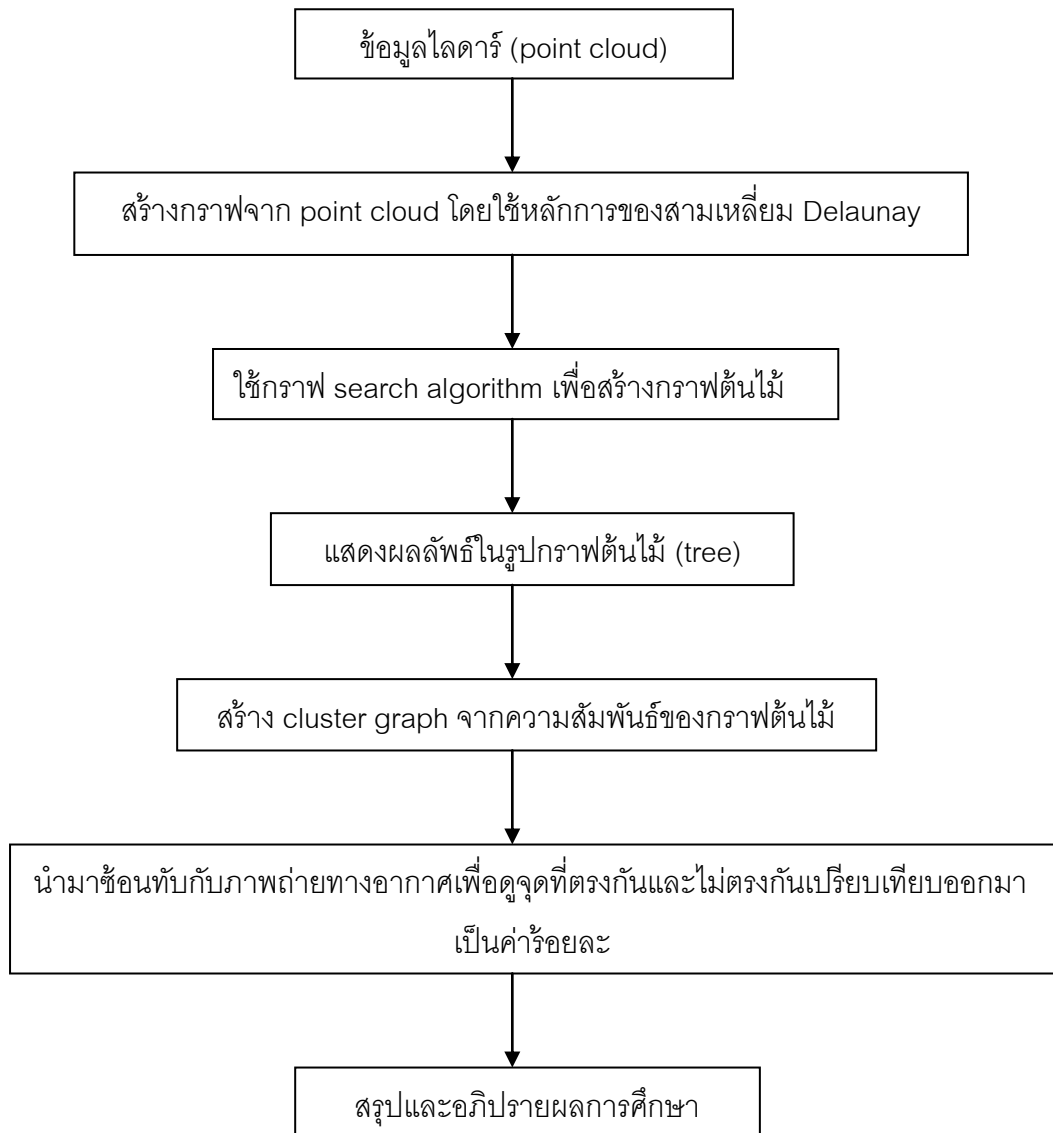


ภาพที่ 3.4 แสดงตำแหน่งของกรณีศึกษาทั้ง 7 กรณี บนภาพถ่ายทางอากาศ

จากภาพที่ 3.4 แสดงกรณีศึกษาทั้ง 7 กรณีโดยแสดงเป็นสัญลักษณ์ตั้งแต่ T1-T7 ซึ่งเป็นตัวแทนของกรณีศึกษาตามลำดับ 1-7 บ้านหลังคาแบบจั่ว บ้านที่มีการต่อเติมหลังคา ต้นไม้ อาคารที่มีหลังคาแบบราบ แปลงนา ต้นไม้และแปลงนา บ้านสองหลังติดกัน

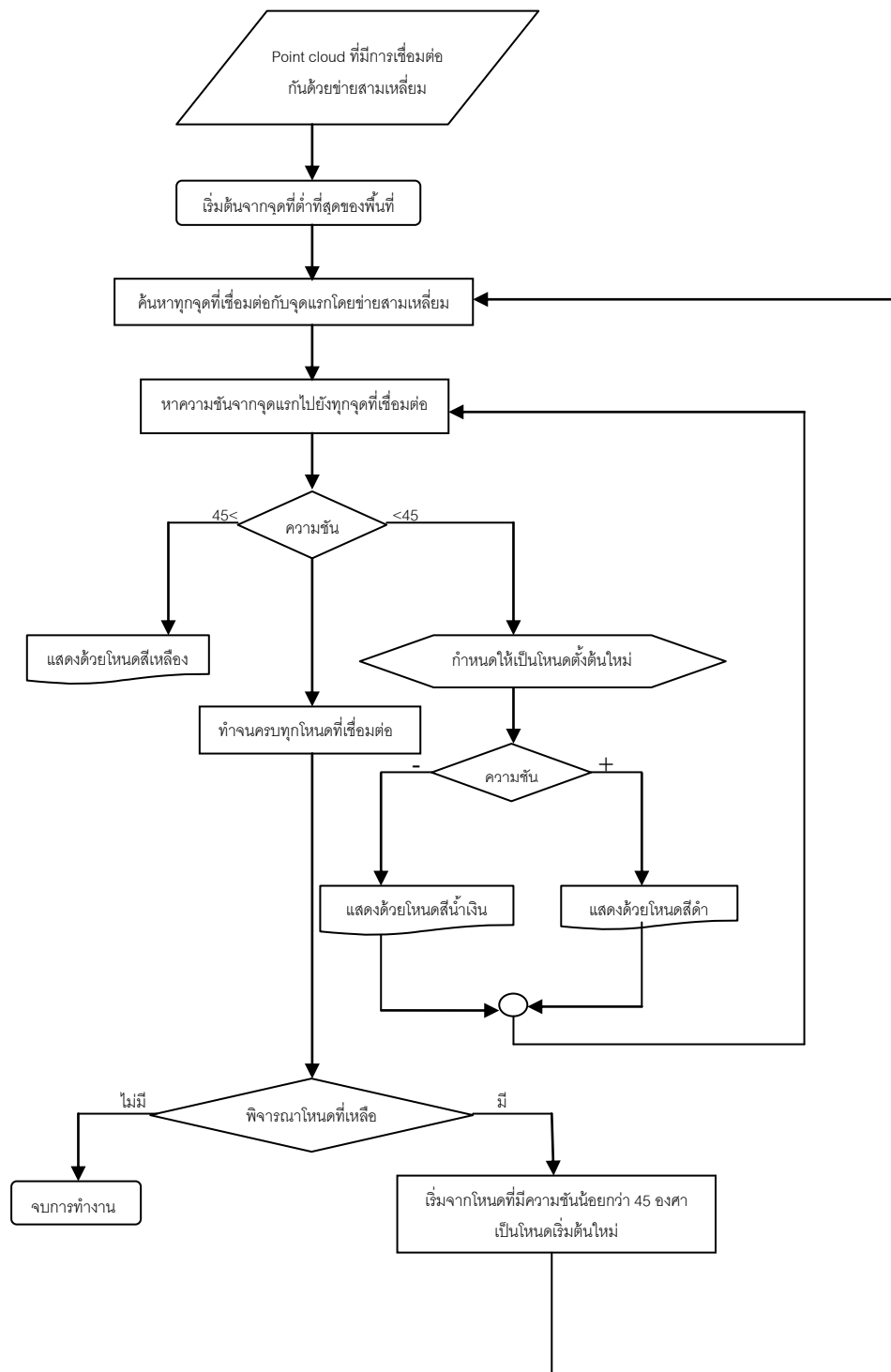
3.3 ขั้นตอนการนำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้

3.3.1 แผนผังและขั้นตอนการดำเนินงานการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในการการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุแสดงตามภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

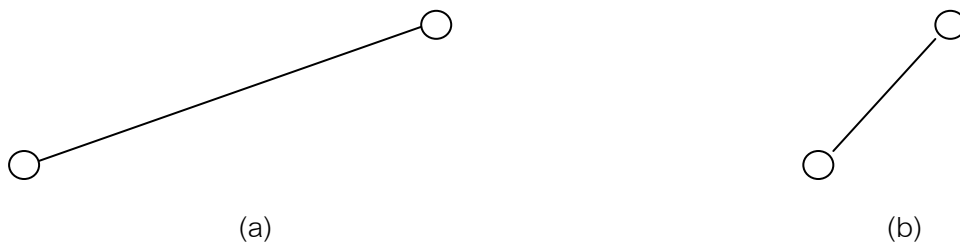
3.3.2 การใช้กราฟ search algorithm เพื่อสร้างกราฟต้นไม้โดยในขั้นตอนนี้ได้นำอัลกอริทึมการค้นหาในแนวกว้าง (Breadth-First-Search) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาหนดทั้งหมดในกราฟที่สร้างขึ้นด้วยสามเหลี่ยม Delaunay และในขั้นตอนนี้จะทำการหาความชันจากหนดอ้างอิงไปยังหนดโดยรอบที่ค้นหาเจอซึ่งขั้นตอนและวิธีในการใช้กราฟ search algorithm อธิบายได้ตามภาพที่ 3.6 ดังนี้



ภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของ Graph Search Algorithm

จากขั้นตอนในภาพที่ 3.6 จะมีการแบ่งความชันที่ 45 องศาเพื่อจำแนกจุดที่อยู่บริเวณอาคารหรือวัตถุและจุดที่เป็นพื้นราบ โดยในสาเหตุที่เราต้องแบ่งความชันที่ 45 องศาเนื่องจากว่า

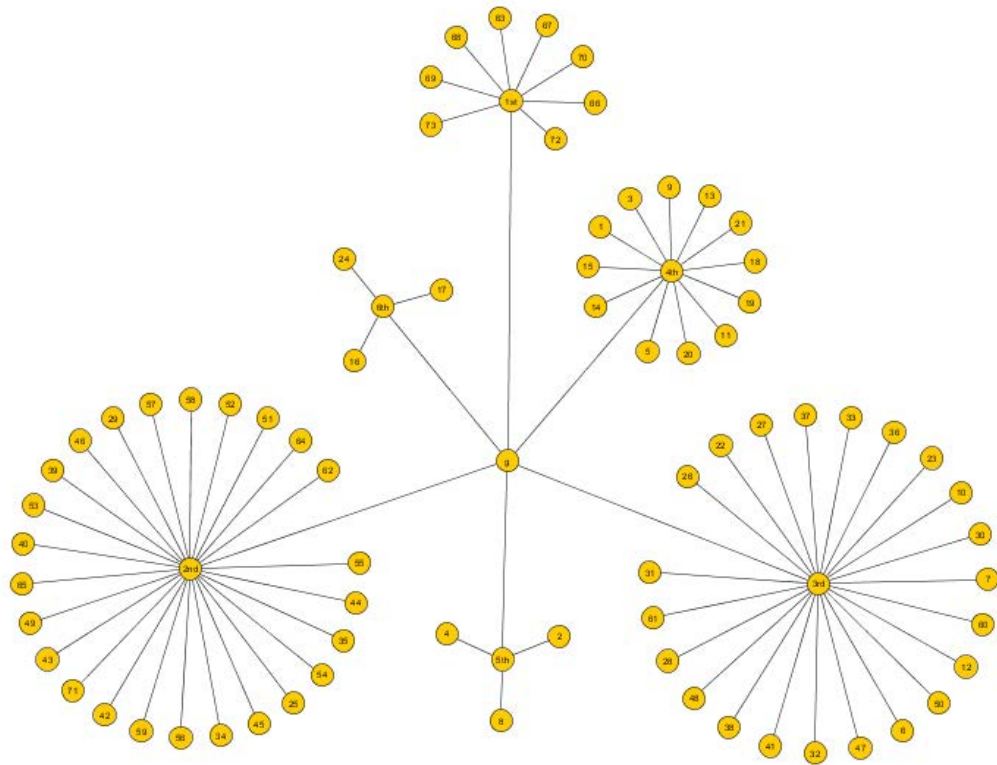
ข้อมูลไวดาร์ที่ใช้มีความหนาแน่นของจุด 3 จุดต่อ 2 เมตร ซึ่งหากแบ่งความชันที่มากกว่านี้เช่น 60 องศาจะทำให้จุดที่ควรจะต้องอยู่บนวัตถุกลายเป็นพื้นราบไปตามภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงความห่างของจุดที่สัมพันธ์กับความชันที่ใช้ โดย (a) คือ จุดสองจุดที่อยู่ห่างกัน และ (b) คือจุดสองจุดที่อยู่ค่อนข้างชิดกัน

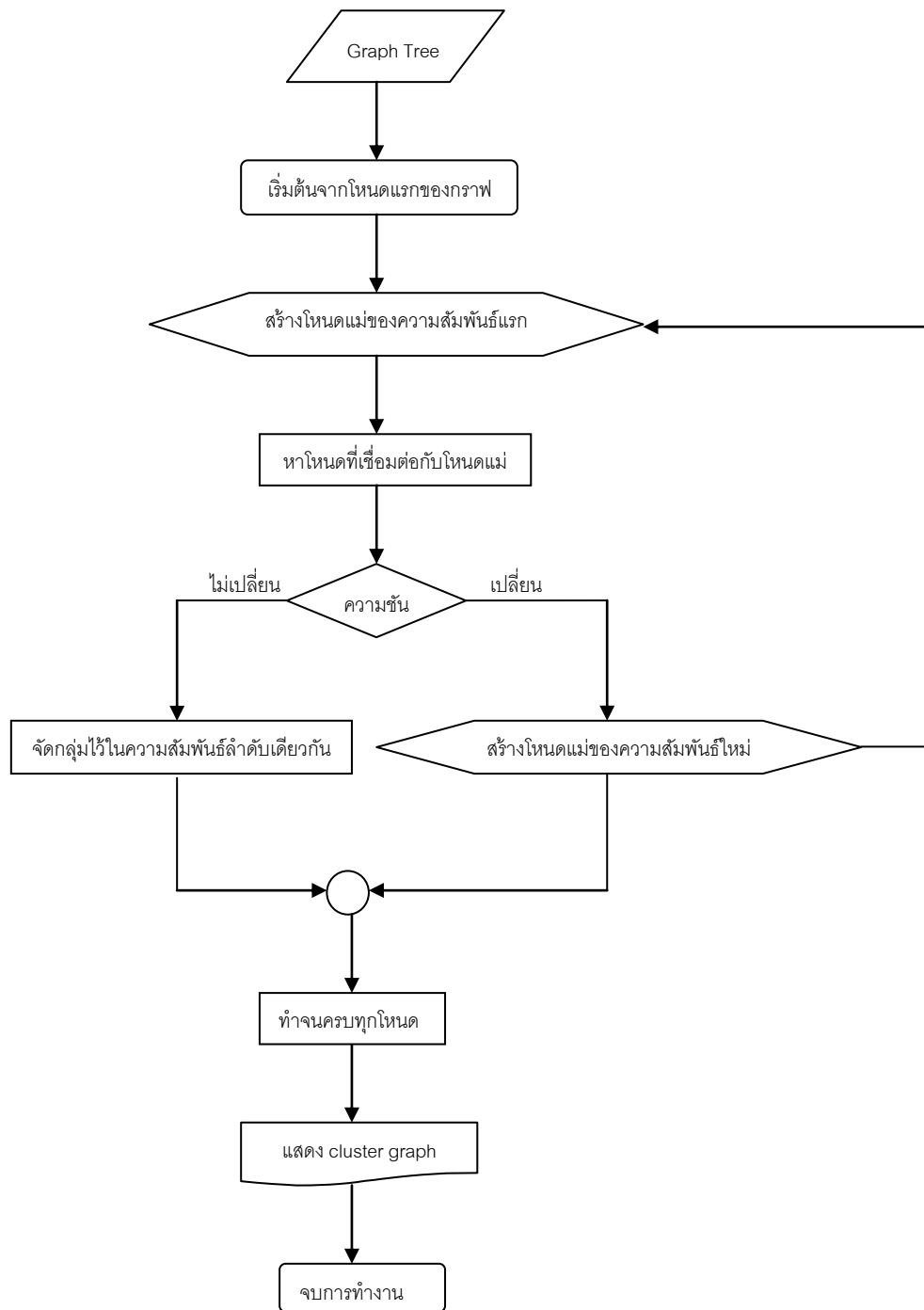
จากภาพที่ 3.7 หากเราแบ่งความชันที่ 60 องศาเพื่อแยกจุดสองจุดออกจากกันในกรณีของ (a) เราจะไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แต่สามารถแยกจุดสองจุดในกรณีของ (b) ได้ และหากเราใช้ความชันที่ 45 องศาจะสามารถแยกจุดสองจุดที่เป็นพื้นราบและเป็นวัตถุเหนือพื้นราบได้ทั้งกรณี (a) และ (b)

3.3.3 การสร้าง cluster graph ตามลำดับชั้นของความสูงมีลักษณะคล้ายกับการ split level มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์จากการใช้กราฟ search ได้ง่ายขึ้น โดยจะมีการแบ่งความสัมพันธ์เป็นลำดับชั้นตามการเปลี่ยนแปลงของความชัน (ซึ่งในที่นี้กำหนดไว้ที่ 45 องศา ถึงจะถือว่ามีเปลี่ยนแปลง) โดยหากมีการเปลี่ยนแปลง 1 ชั้น เราจะกำหนดค่าน้ำหนักให้เป็น 1 เช่น จาก a ไป b มีการเปลี่ยนแปลงความชันจากจุดอ้างอิง เราจะกำหนดให้มีค่าเป็น 1 หากมีการเปลี่ยนแปลงความชันอีกครั้งจะต้องบวกน้ำหนักไปอีก $1+1=2$ และหากมีการเปลี่ยนแปลงความชันในทิศทางตรงข้าม (ความชันเป็นลบ) จะมีค่าน้ำหนักเป็น -1 เช่น จากจุด b มีค่าเป็น 2 แต่จากจุด b ไป c มีค่าเป็น -1 ดังนั้นจุด c จะมีค่า $2-1=1$ โดยเราจะจัดกลุ่มตามค่าน้ำหนัก โดย cluster graph แสดงตัวอย่างตามภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของ cluster graph

จากภาพที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงการแบ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราได้ใช้ลำดับชั้นของความสูงซึ่งแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงของความชันโดยในรูปที่ 3.8 มีการเปลี่ยนแปลงของความชันทั้งหมด 6 ครั้ง ก็จะมีทั้งหมด 6 กลุ่ม โดยที่ในแต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยโหนดลูกที่มีความชันในระดับเดียวกันโดยที่ไม่สนใจตำแหน่งของโหนดนั้น ซึ่งในกลุ่มแรกจะมีค่าของโหนดเป็น 0 (คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชัน) และกลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มที่ 6 จะมีค่าของโหนดที่เป็นสมาชิกกับ 5 หลังจากนั้นเราจะนำโหนดที่แบ่งได้ในแต่ละกลุ่มไปทำการให้สีตามตำแหน่งเมื่อซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศ โดยขั้นตอนในการทำ cluster graph นั้นสามารถแสดงได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการสร้าง cluster graph

3.3.4 การเปรียบเทียบข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย Cluster Graph โดยการซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการเช็คจุดที่ไม่ตรงกันและจุดที่ตรงกันระหว่างการวิเคราะห์ด้วย cluster graph และภาพถ่ายทางอากาศ โดยในการเช็คนั้นจะเปรียบเทียบค่าที่ได้ออกมาในรูปของร้อยละแบ่งเป็นสองกรณีคือร้อยละของจุดที่ไม่ตรงกัน และร้อยละของจุดที่ตรงกัน

$$\text{ให้ miss} = \frac{TP - MP}{TP} \times 100$$

โดย TP = จุดในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

MP = จุดที่พลาดทั้งหมด

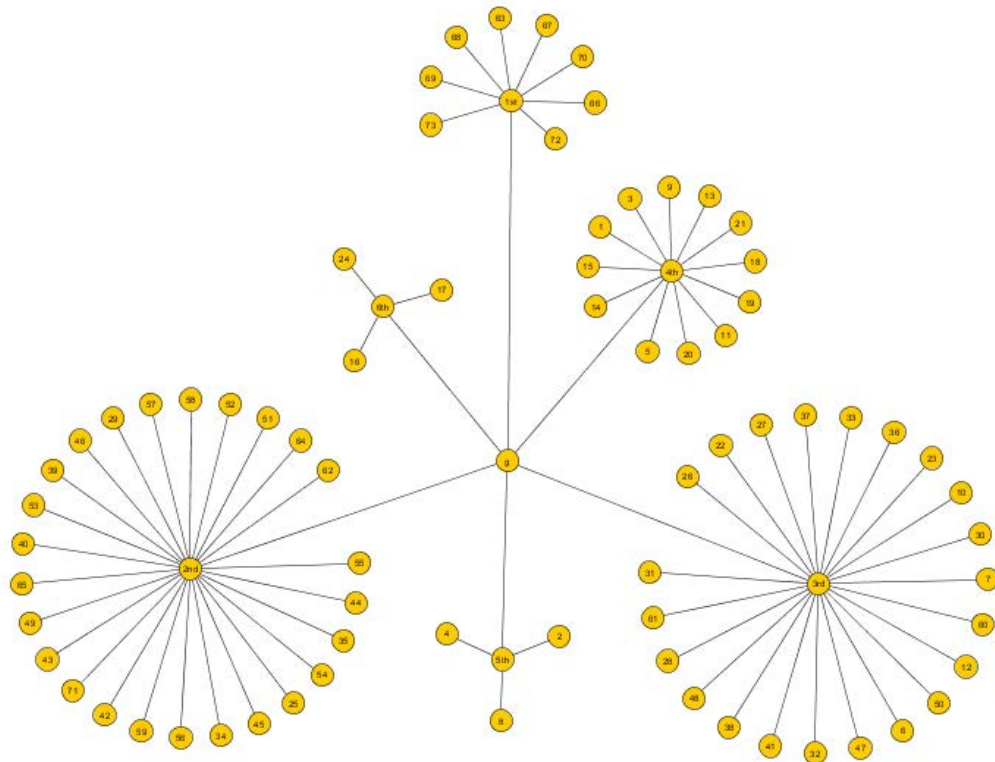
$$\text{ให้ match} = \frac{TP - MaP}{TP} \times 100$$

โดย TP = จุดในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

MaP = จุดที่ตรงกันทั้งหมด

เดียวกันจึงคาดคะเนได้ว่าโหนดนั้นอยู่ภายในบริเวณอาคารหรือขอบของอาคารจากกราฟ
กรณีศึกษาที่ 1 จะพบกิ่งของกราฟต้นไม้เป็นแนวลึกลงไป จากความสัมพันธ์ของกราฟต้นไม้ใน
กรณีที่ 1 สรุปและจัดกลุ่มของความสัมพันธ์เป็น cluster graph

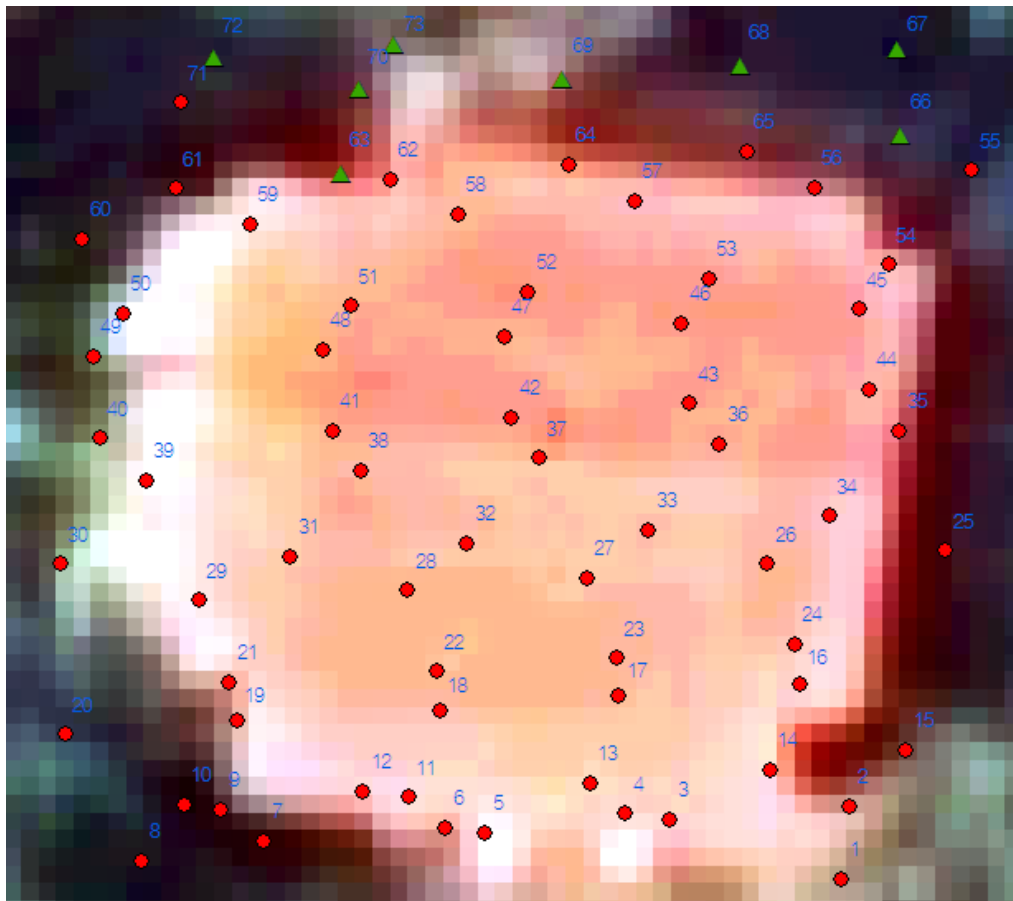
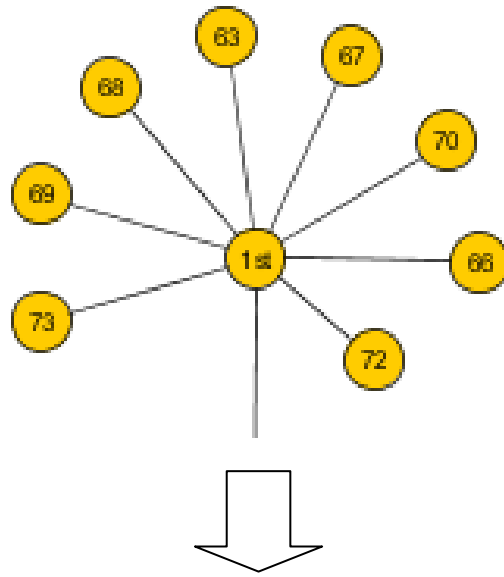
4.1.2 cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 1



ภาพที่ 4.2 แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 1

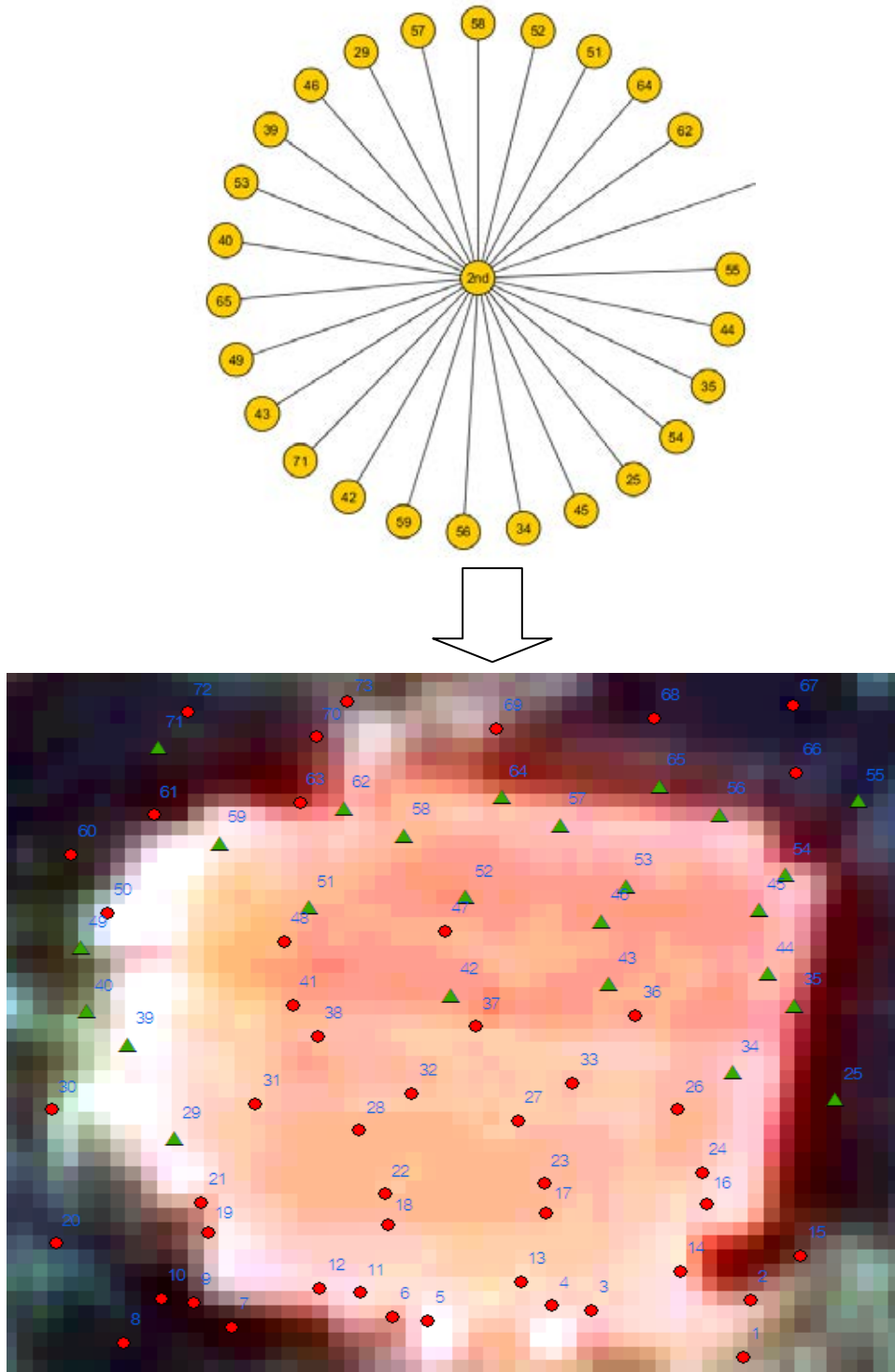
จากภาพที่ 4.2 เราแบ่งกลุ่มความสัมพันธ์ได้ 6 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มแรกของความสัมพันธ์ คือส่วน
ที่เป็นพื้นราบ และ ส่วนที่เป็นความสัมพันธ์ตั้งแต่ลำดับที่ 2-6 คือโหนดที่เป็นตัวแทนของจุดใน
อาคาร จากกลุ่มของความสัมพันธ์เมื่อนำข้อมูลไลดาร์ไปซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศแสดงดัง
ภาพที่ 4.3-4.8 โดยกำหนดสัญลักษณ์ คือ

- แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแต่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ cluster graph
ในแต่ละลำดับที่แสดงตามภาพ
- ▲ แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์แต่ละลำดับของ cluster graph



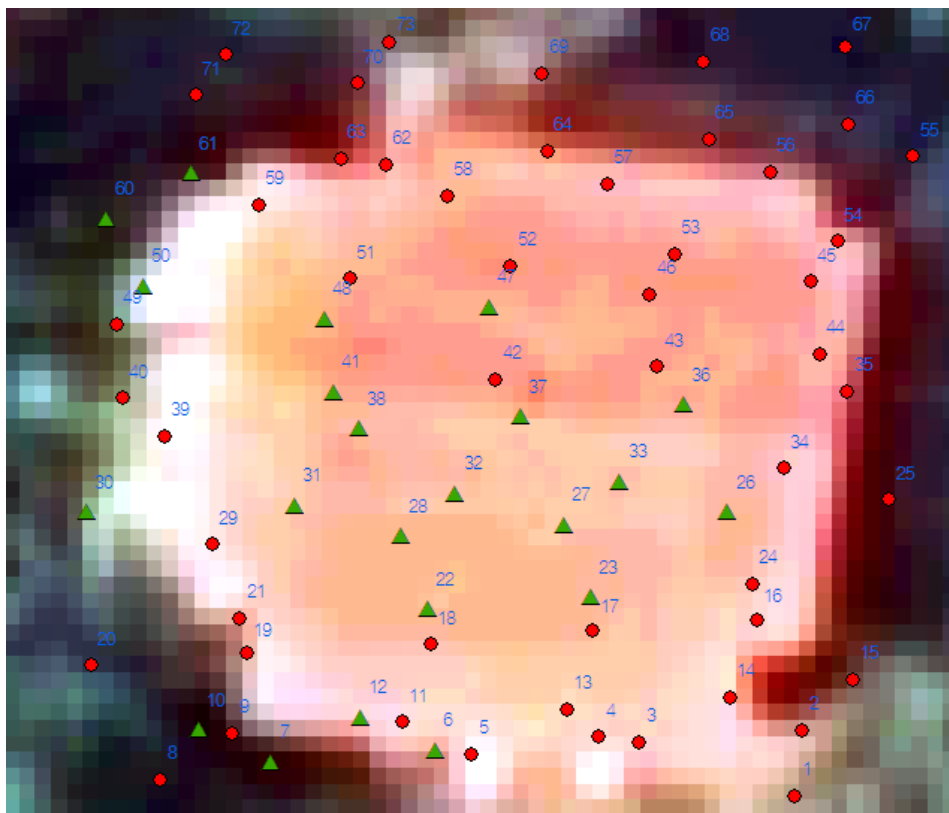
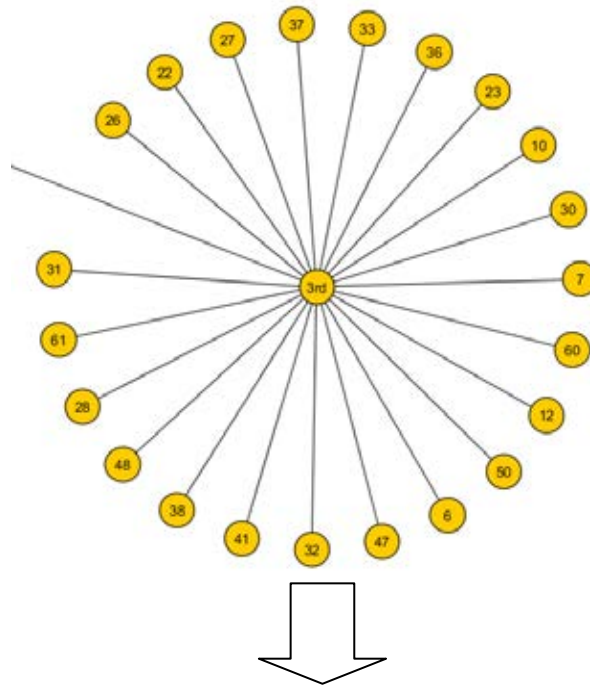
ภาพที่ 4.3 แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.3 เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศจะพบว่าข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ในความสัมพันธ์ลำดับจะพบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่บริเวณนอกอาคารจริงมีเพียงจุดเดียวคือจุดที่ 68 ซึ่งอยู่บริเวณขอบอาคาร



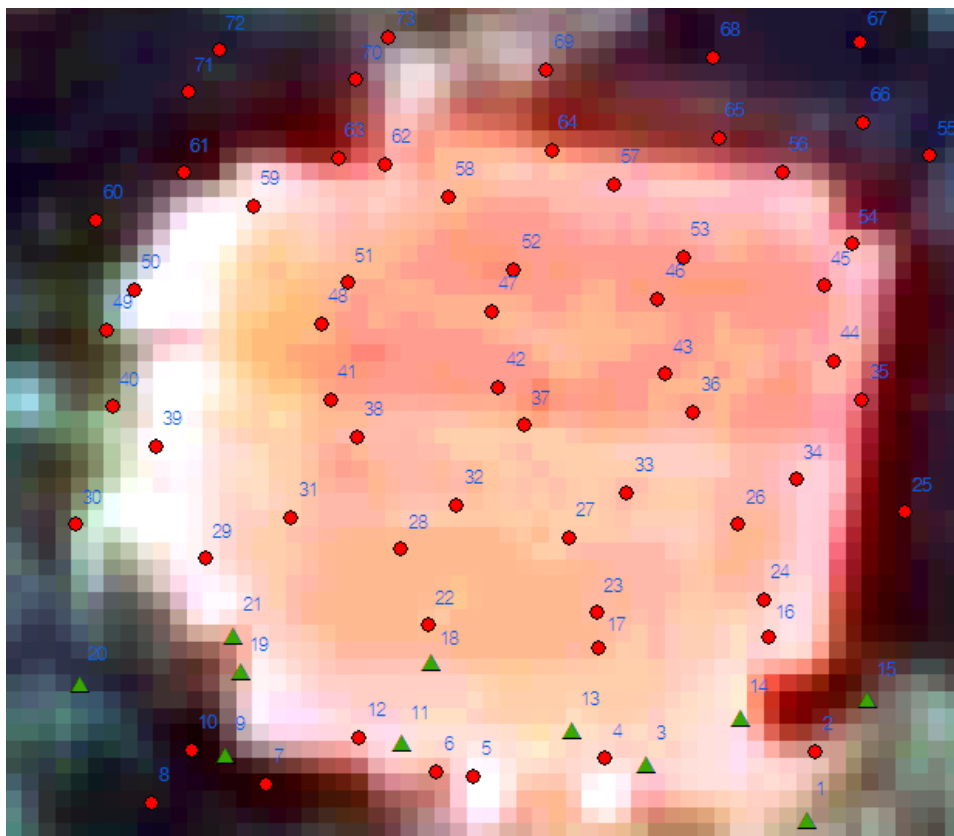
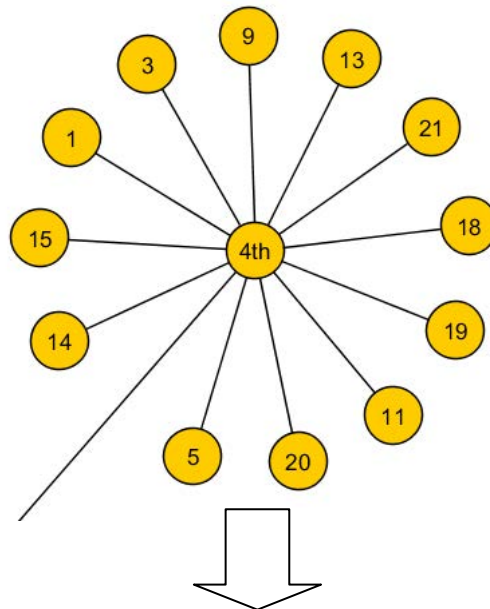
ภาพที่ 4.4 แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าส่วนใหญ่ของจุดที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 นี้จะอยู่ในบริเวณอาคารจะพบเพียงแค่ 2 จุดที่อยู่ภายนอกอาคาร คือ จุดที่ 25 และ 71



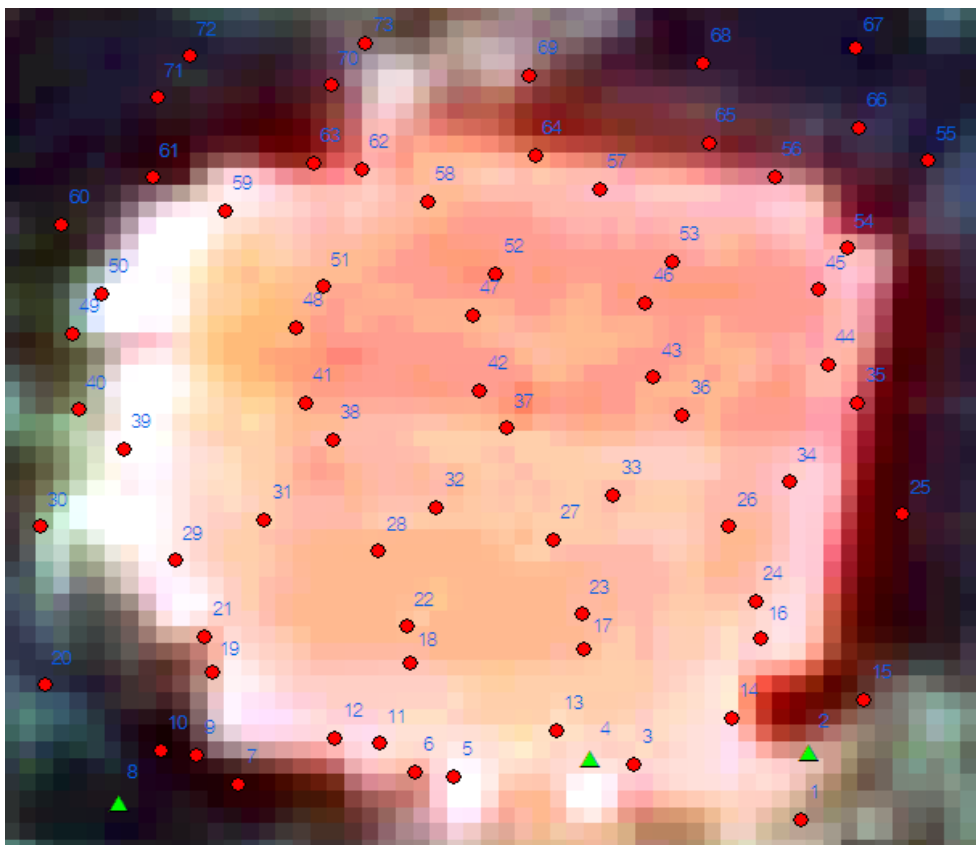
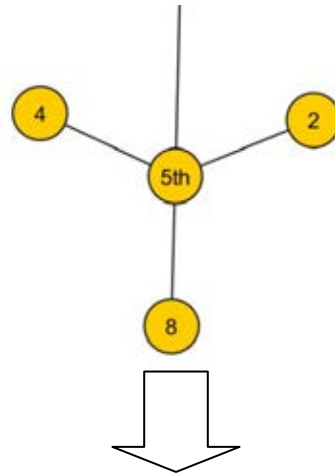
ภาพที่ 4.5 แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.5 จะพบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่ภายในบริเวณอาคารและเกาะกลุ่มอยู่กลางบ้าน ซึ่งมีจุดที่ไม่ตรงกัน 4 จุด คือ 7 , 10 , 60 และ 61



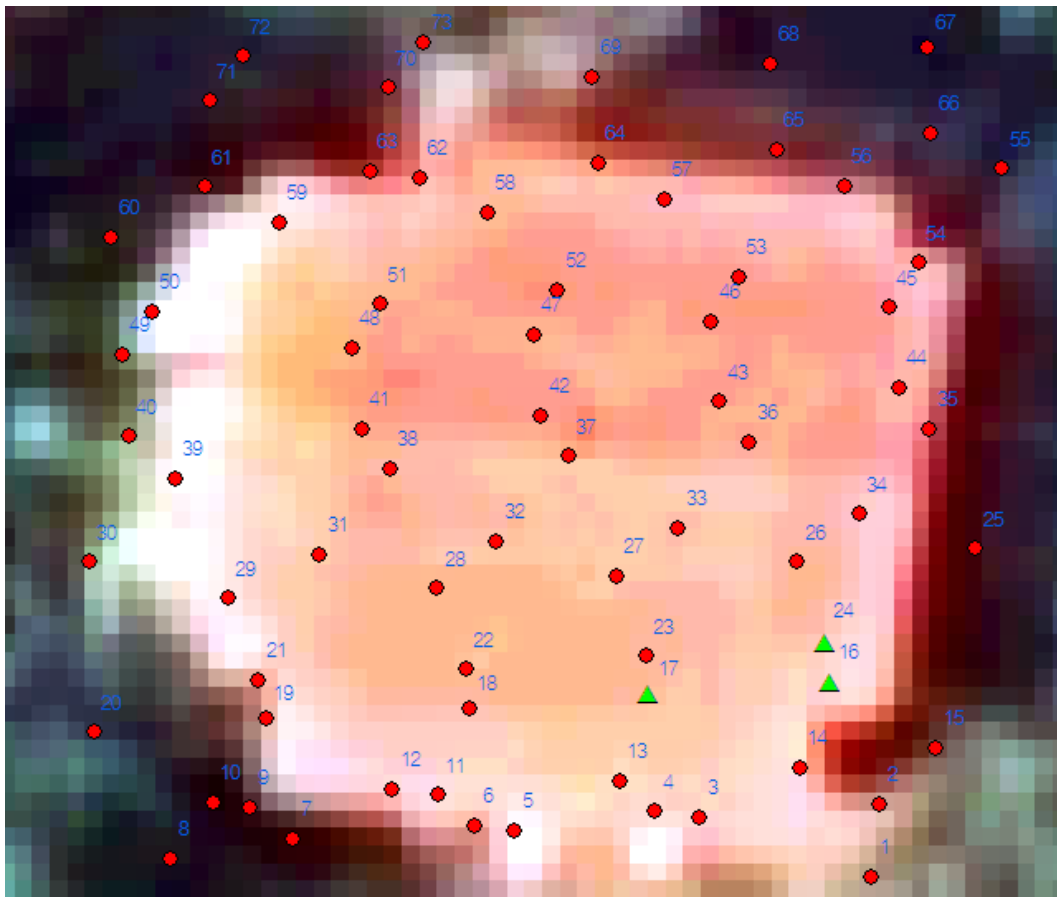
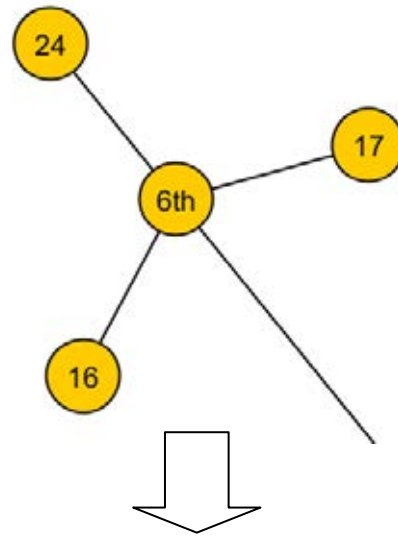
ภาพที่ 4.6 แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.6 พบว่าจุดส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้จะอยู่บริเวณขอบอาคาร โดยมีจุดที่อยู่นอกอาคาร 4 จุด คือ 1 , 9 , 15 และ 20



ภาพที่ 4.7 แสดงกลุ่มที่ 5 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

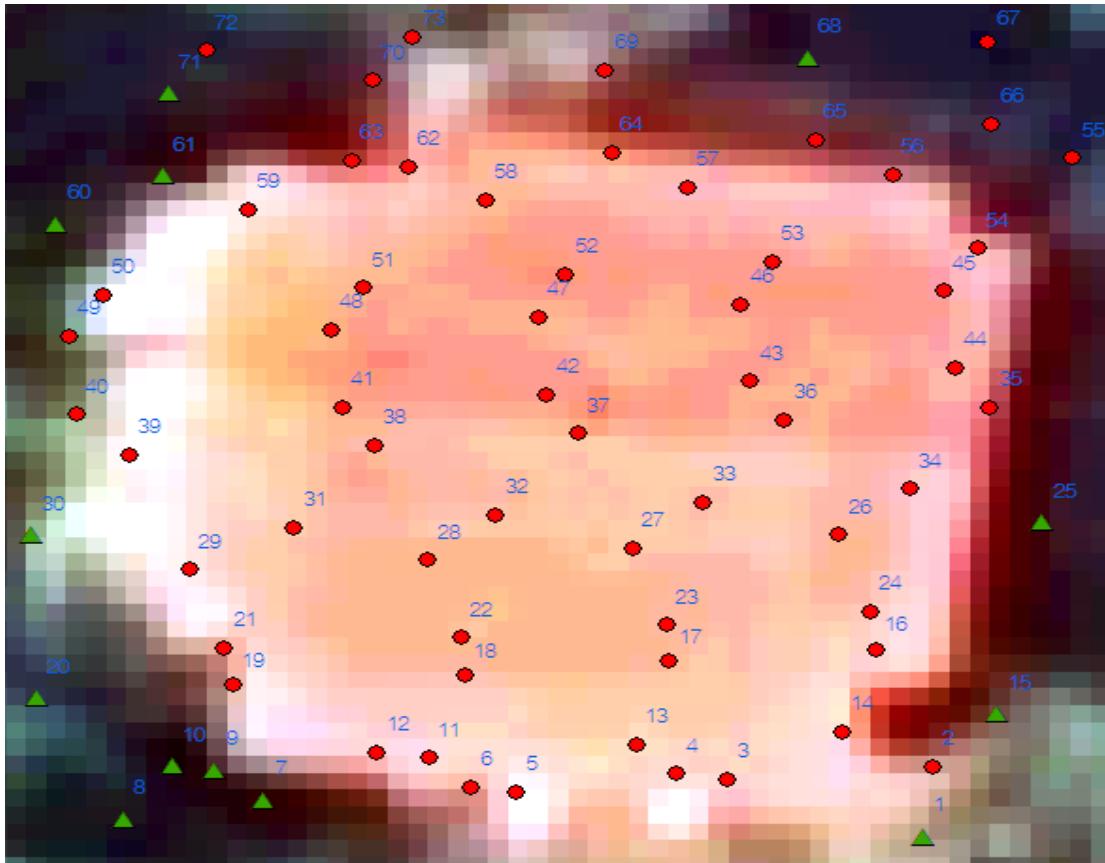
จากภาพที่ 4.7 พบว่าในกลุ่มนี้มีสมาชิกทั้งหมด 3 จุด โดยมีจุดเดียวที่ไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศคือ จุดที่ 8



ภาพที่ 4.8 แสดงกลุ่มที่ 6 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.8 จะพบว่าจุดที่อยู่ในกลุ่มนี้จะอยู่ในบริเวณอาคารทั้งหมด จากทั้ง 6 กลุ่มที่กล่าวมาสรุปจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกันได้ตามภาพที่ 4.9

4.1.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับภาพถ่ายทางอากาศ



- ▲ จุดที่ไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph
- จุดที่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph

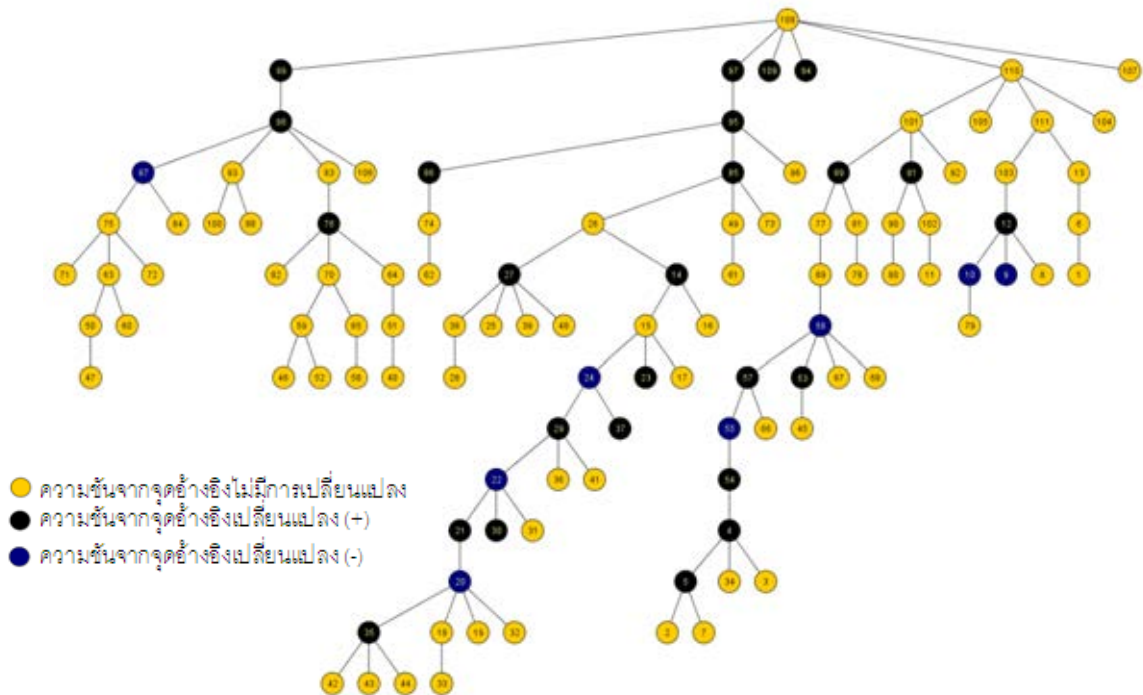
ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.9 หลังจากการนำภาพถ่ายมาซ้อนทับจะแสดงจุดที่ไม่ตรงกัน 11 จุด ได้แก่ จุดที่ 1, 7, 9, 10, 15, 20, 25, 60, 61, 68 และ 71 ซึ่งจุดที่ไม่ตรงกันคิดเป็น 12.32 % ส่วนที่ตรงกันคิดเป็น 87.67 % ซึ่งจุดที่ไม่ตรงกันทั้งหมดเป็นจุดที่เราคาดว่าเป็นบริเวณภายในอาคารจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph แต่เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่าจุดทั้งหมดอยู่ภายนอกอาคารซึ่งหลายจุดกระจายอยู่ในบริเวณที่ใกล้อาคาร เช่น จุดที่ 7, 8, 9, 10, 25, 30 และ 61

4.2 กรณีศึกษาที่ 2

ในกรณีศึกษาที่ 2 ผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์บริเวณที่บ้านที่พักอาศัยซึ่งมีการต่อเติมหลังคา โดยมีข้อมูลไลดาร์ที่อยู่รอบบริเวณบ้านและบริเวณภายในบ้าน

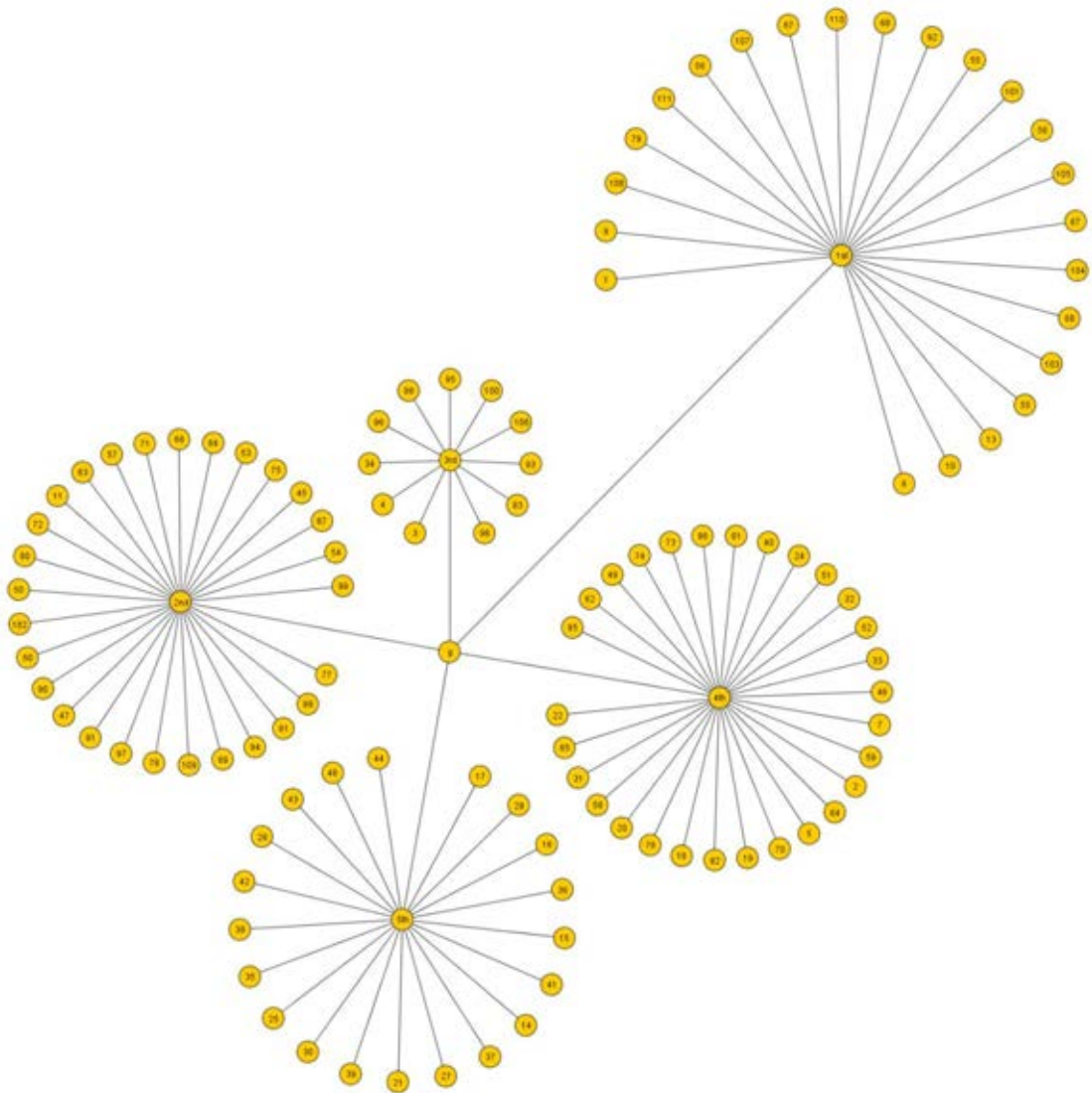
4.2.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 2

จากกราฟในภาพที่ 4.10 โหนดแรกของกราฟ คือ โหนดที่ 108 โดยรูปกราฟของกรณีศึกษาที่ 2 นั้นจะมีความซับซ้อนมากกว่ารูปกราฟจากกรณีศึกษาที่ 1 โดยจากลักษณะของกราฟต้นไม้ มีอยู่ 2 กิ่งที่ลีกลงไป โดยโหนดสีดำและสีน้ำเงินจะปรากฏเยอะบริเวณนี้ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความชัน

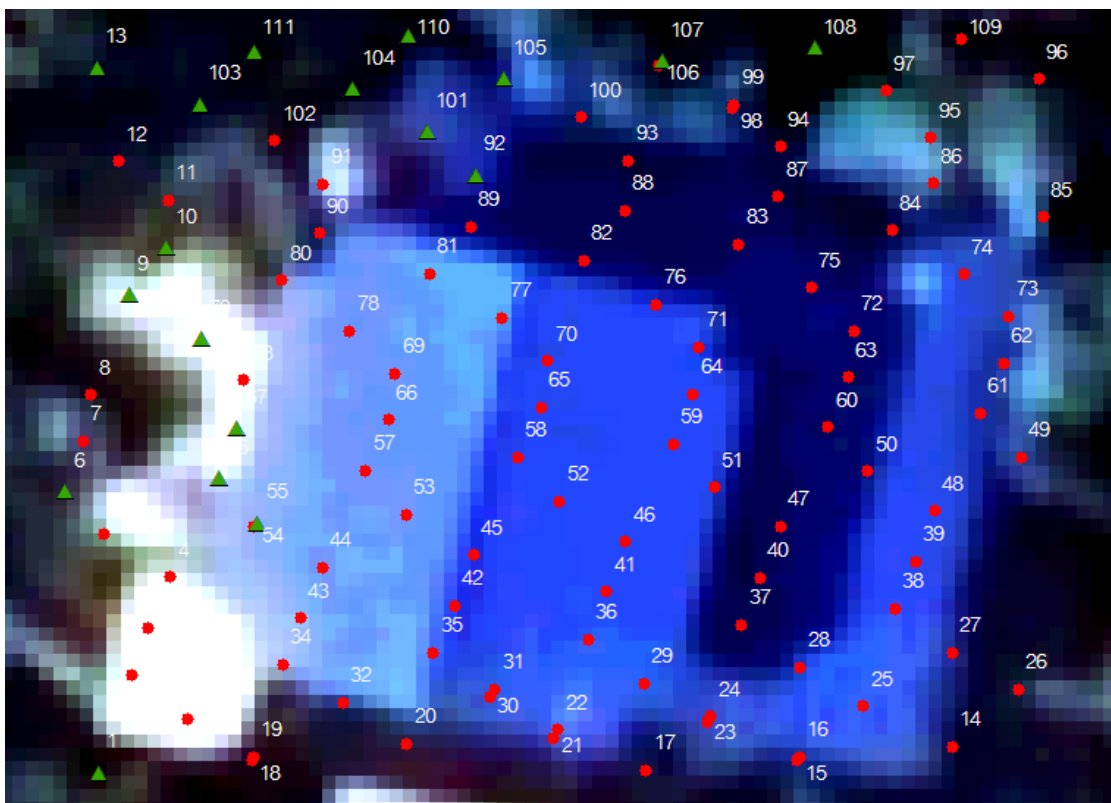
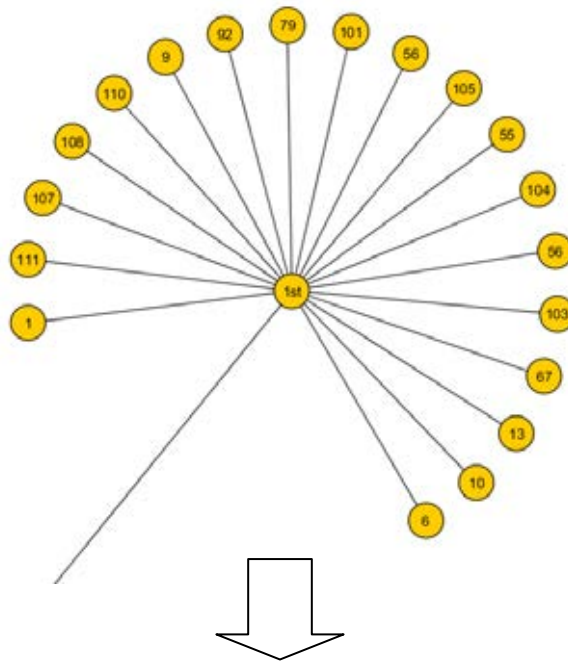
4.2.2 Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 2



ภาพที่ 4.11 แสดง cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 2

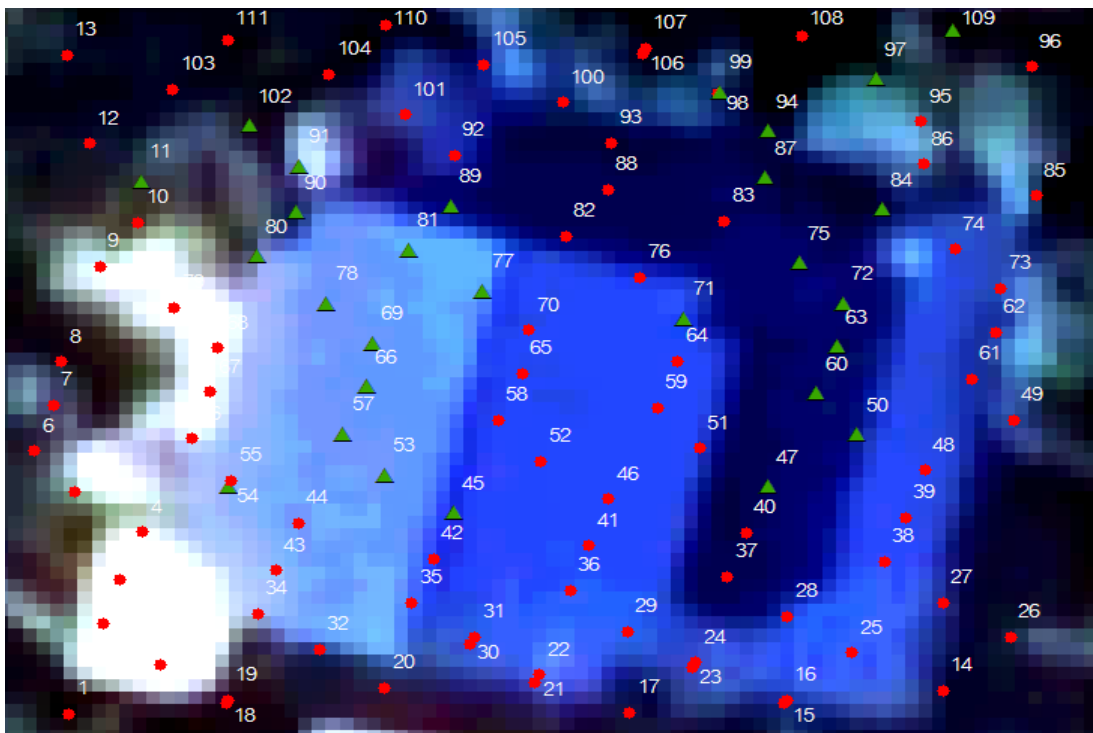
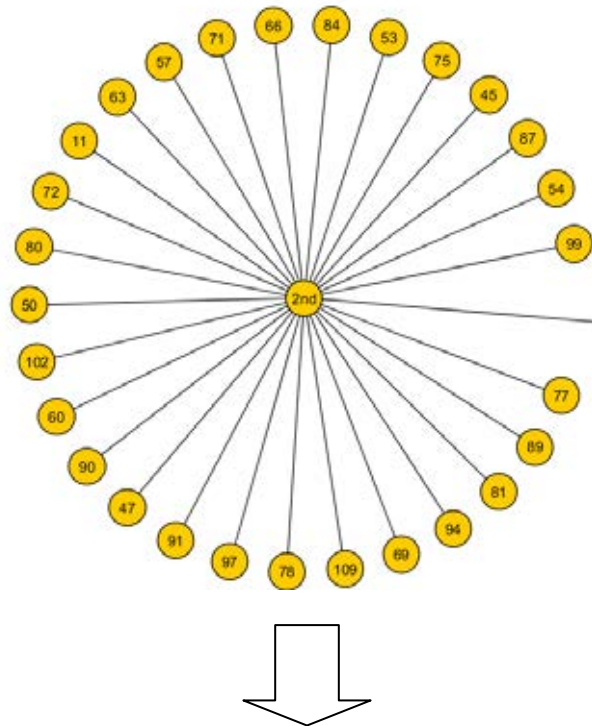
จากภาพที่ 4.11 cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 2 แบ่งออกเป็นทั้งสิ้น 5 ลำดับของความสัมพันธ์โดยที่เมื่อนำข้อมูลไวดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph แล้ว นำมาแสดงบนภาพถ่ายทางอากาศแสดงได้ตามภาพที่ 4.12-4.16 โดยกำหนดสัญลักษณ์ คือ

- แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแต่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ cluster graph ในแต่ละลำดับที่แสดงตามภาพ
- ▲ แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์แต่ละลำดับของ cluster graph



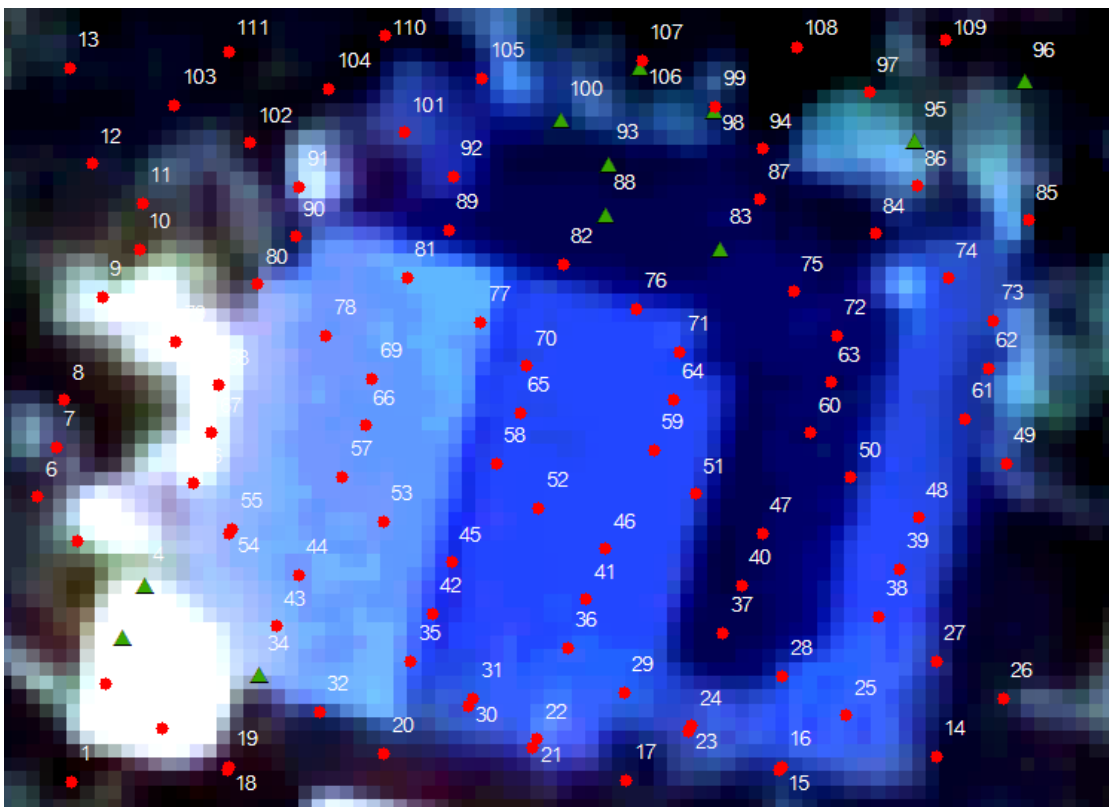
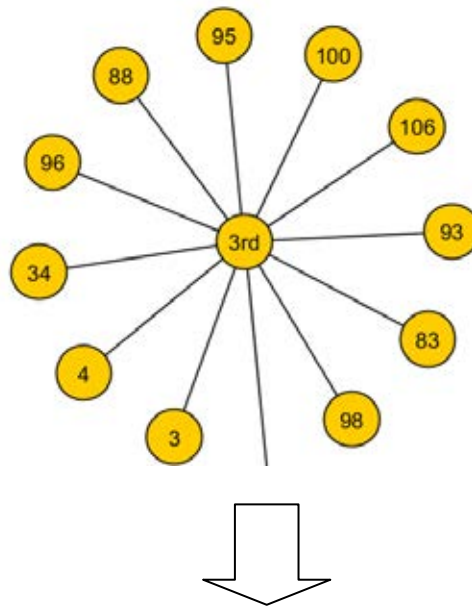
ภาพที่ 4.12 แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.12 พบว่าส่วนใหญ่จุดจะอยู่บริเวณภายนอกอาคาร โดยมีจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 1 , 55 , 56 , 67 และ 92



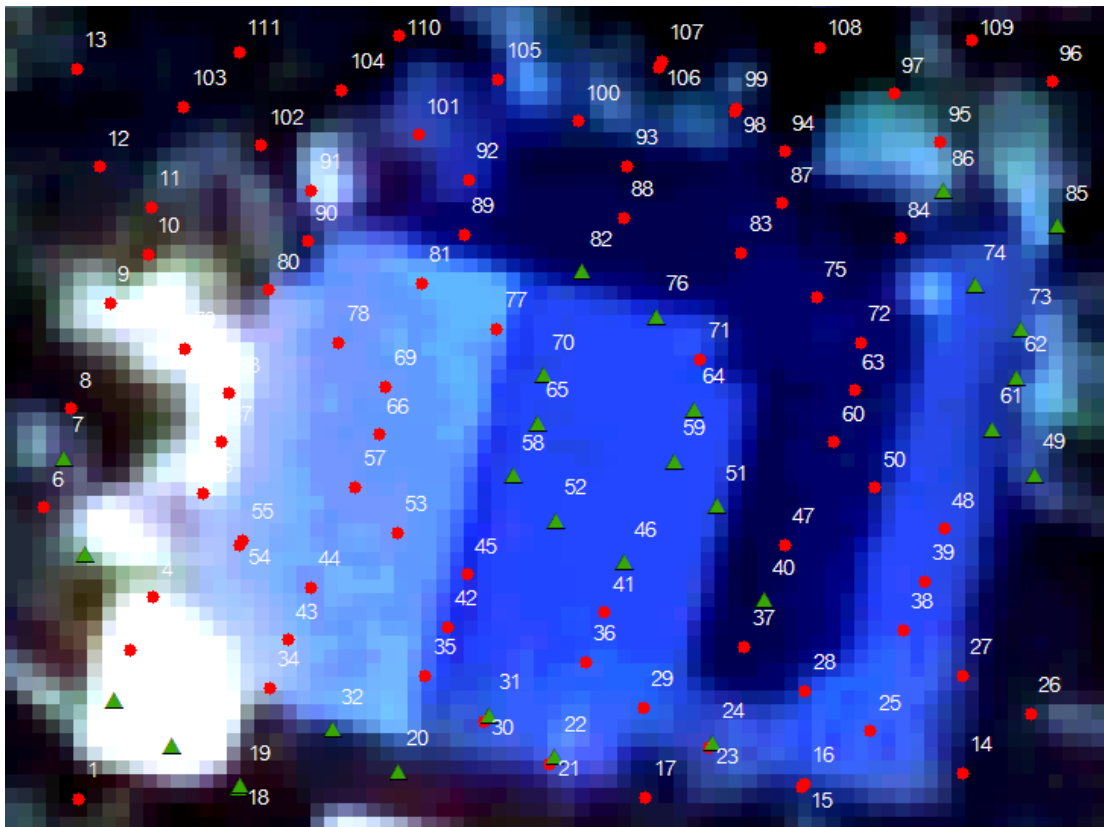
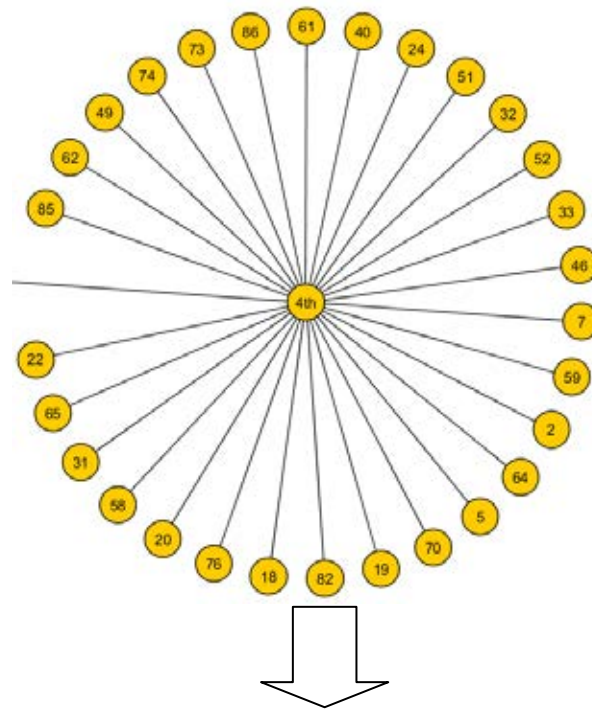
ภาพที่ 4.13 แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.13 พบว่าจุดส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้จะอยู่ภายในบริเวณอาคารโดยจุดที่ไม่ตรงกันคือ จุดที่ 11, 87, 91, 97, 98, 102 และ 109 ที่อยู่นอกอาคาร



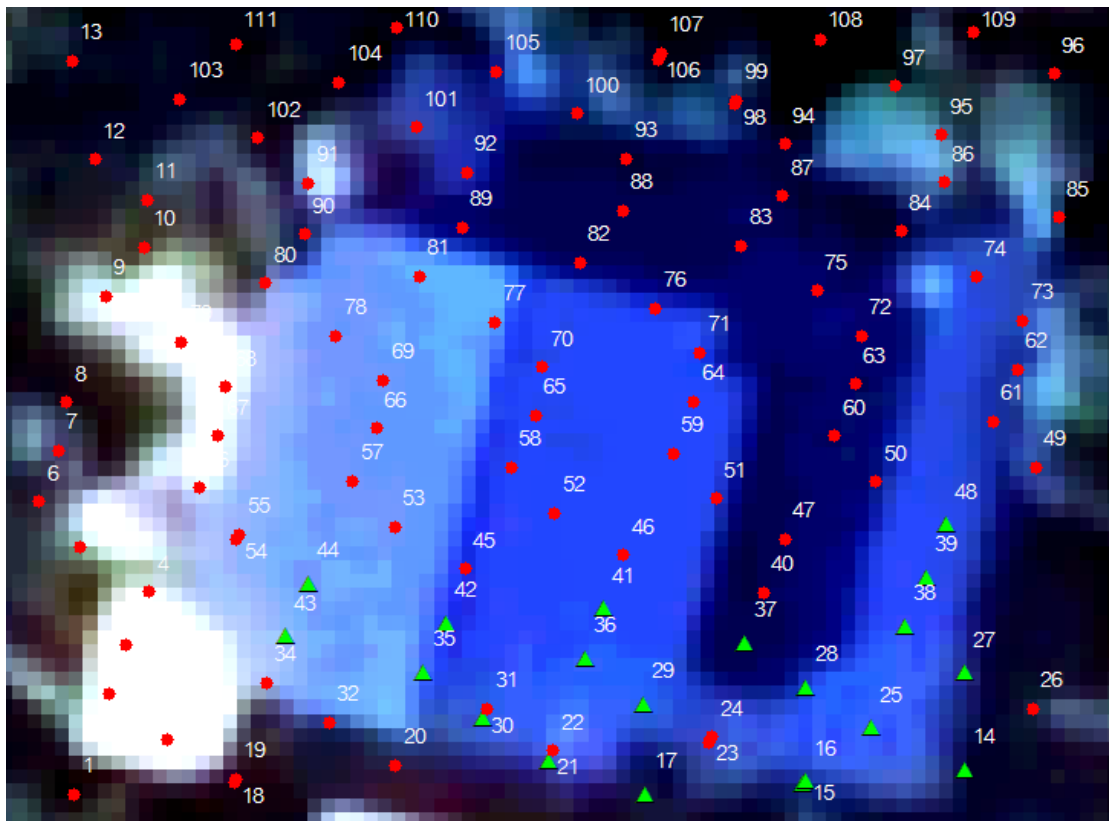
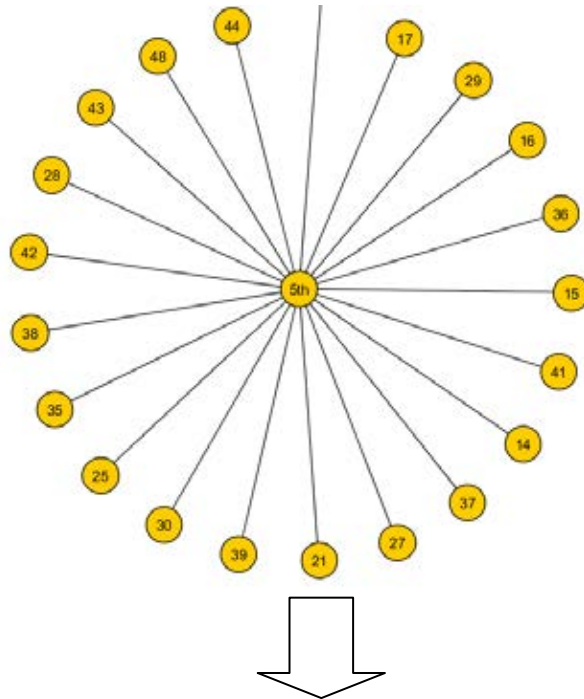
ภาพที่ 4.14 แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.14 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 86 , 96 , 99 , 100 และ 107 เป็นจุดที่อยู่ภายนอกอาคาร



ภาพที่ 4.15 แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2

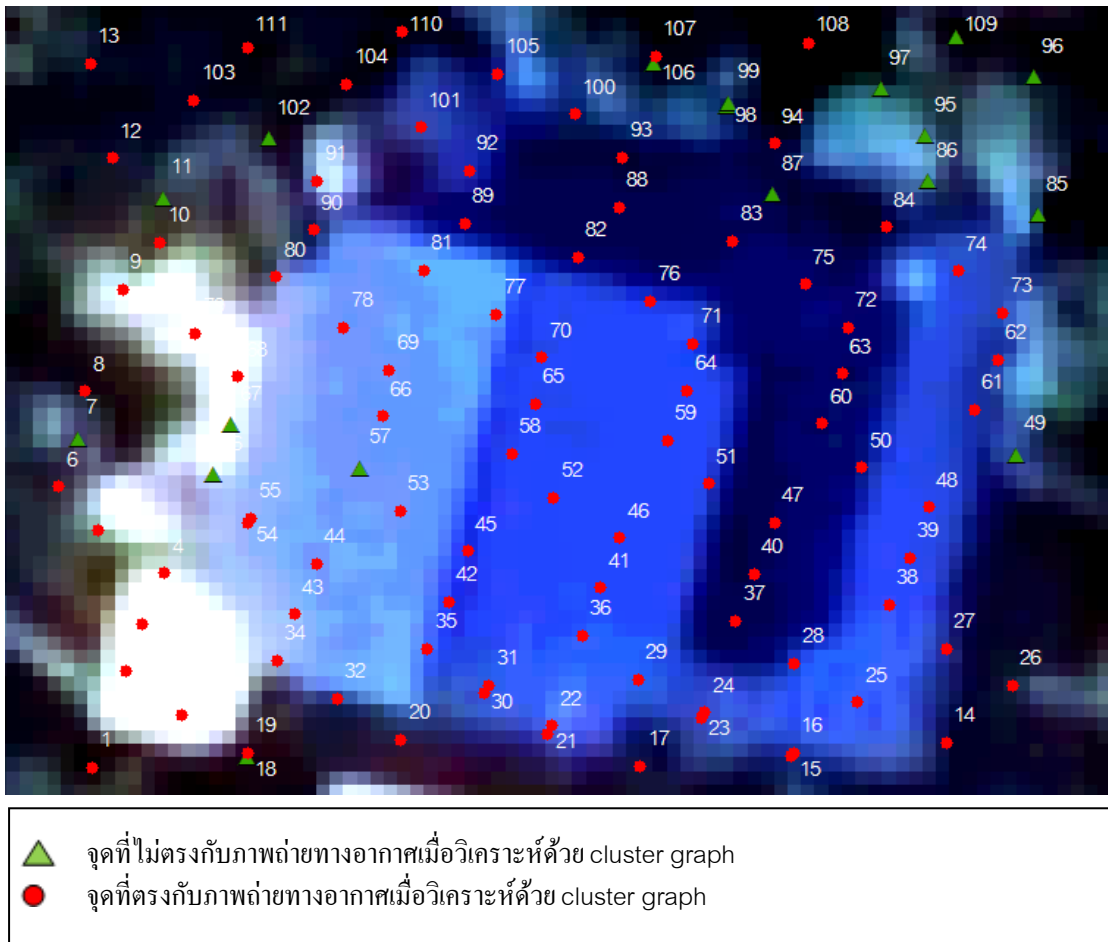
จากภาพที่ 4.15 พบว่าจุดที่ไม่ตรงกันคือ จุดที่ 7 , 20 , 32 , 49 , 85 และ 86 ซึ่งอยู่
ภายนอกอาคาร



ภาพที่ 4.16 แสดงกลุ่มที่ 5 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.16 พบว่าจุดจะเกาะกลุ่มกันบริเวณขอบล่างของอาคาร และไม่มีจุดใดที่อยู่ภายนอกอาคารจึงถือว่าตรงกันทุกจุด

4.2.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับภาพถ่ายทางอากาศ



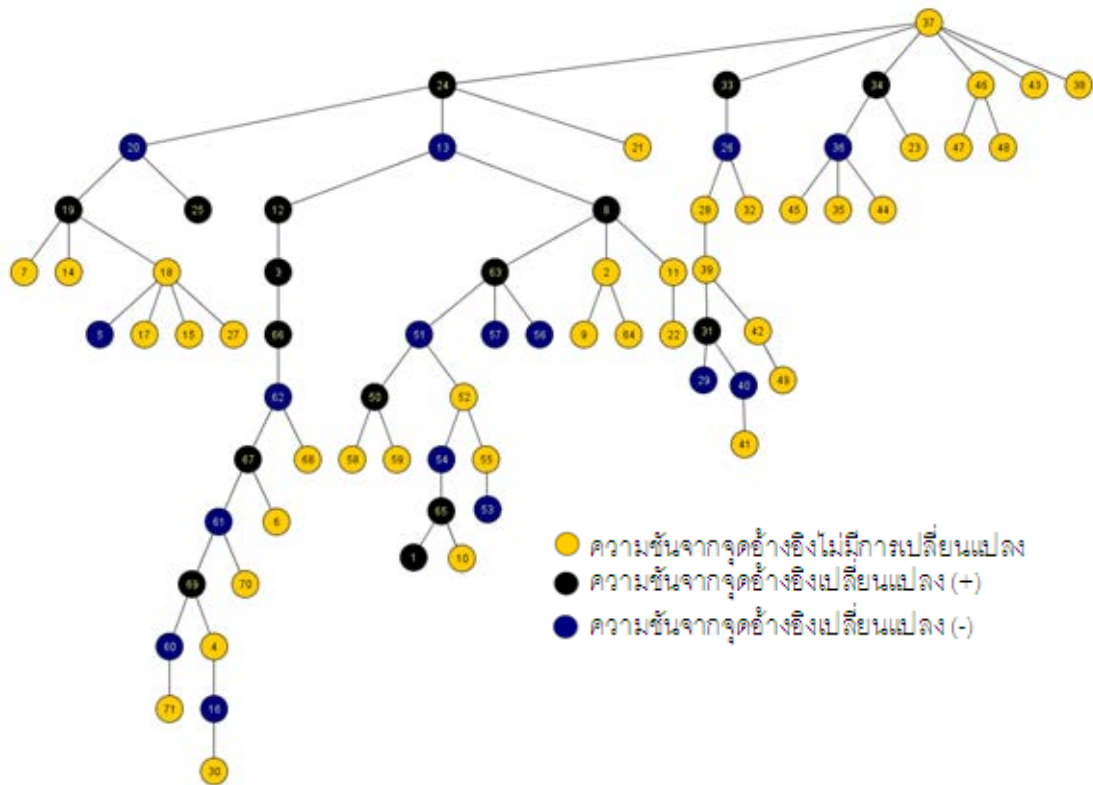
ภาพที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.17 จะพบว่าจุดที่ไม่ตรงกันได้แก่ จุดที่ 7 , 56 , 57 , 67 , 49 , 11 , 107 , 98 97 , 95 , 86 , 96 , 109 โดยจุดที่ไม่ตรงกันคิดเป็น 11.71 % และจุดที่ตรงกันคิดเป็น 89.18 %

4.3 กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 ผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์บริเวณที่เป็นต้นไม้และพื้นที่โดยรอบมาเป็นกรณีศึกษา

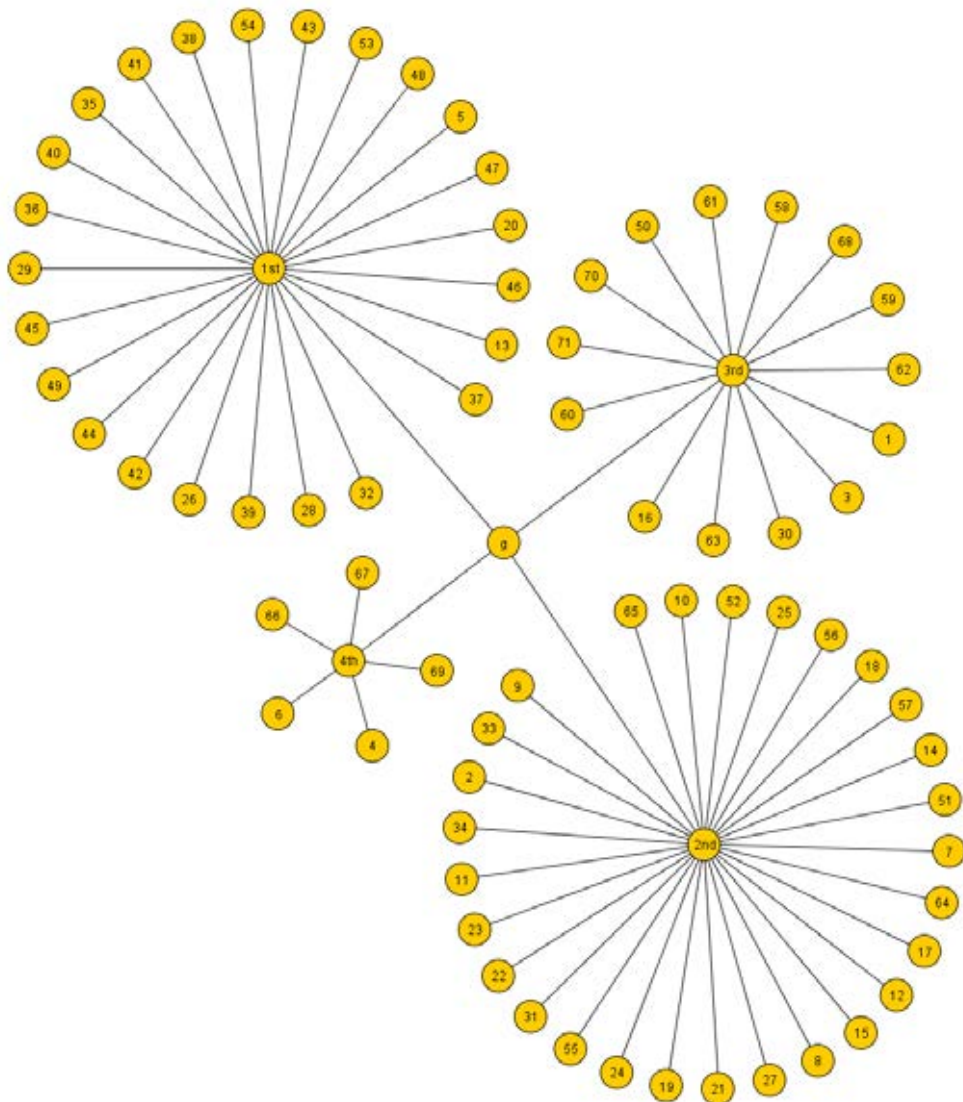
4.3.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 3



ภาพที่ 4.18 แสดงกราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพที่ 4.18 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 3 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงความชันมากกว่า 2 กรณีแรกที่ผ่านมาโดยมีกิ่งที่ลีกลงมาสลับกับโหนดสีดำและสีน้ำเงินที่มากกว่า 2 กรณีแรกที่ผ่าน
มา

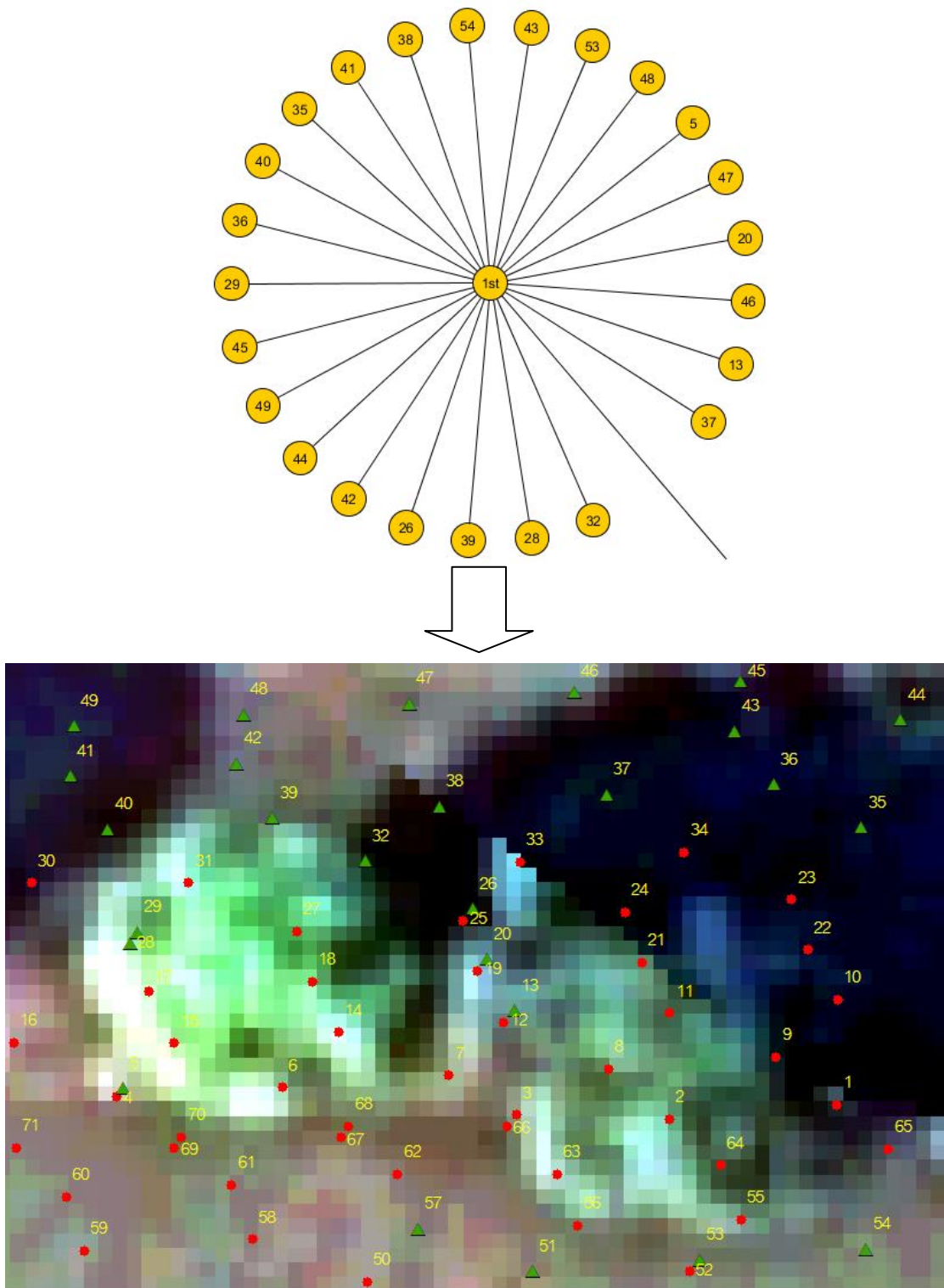
4.3.2 Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 3



ภาพที่ 4.19 แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 3

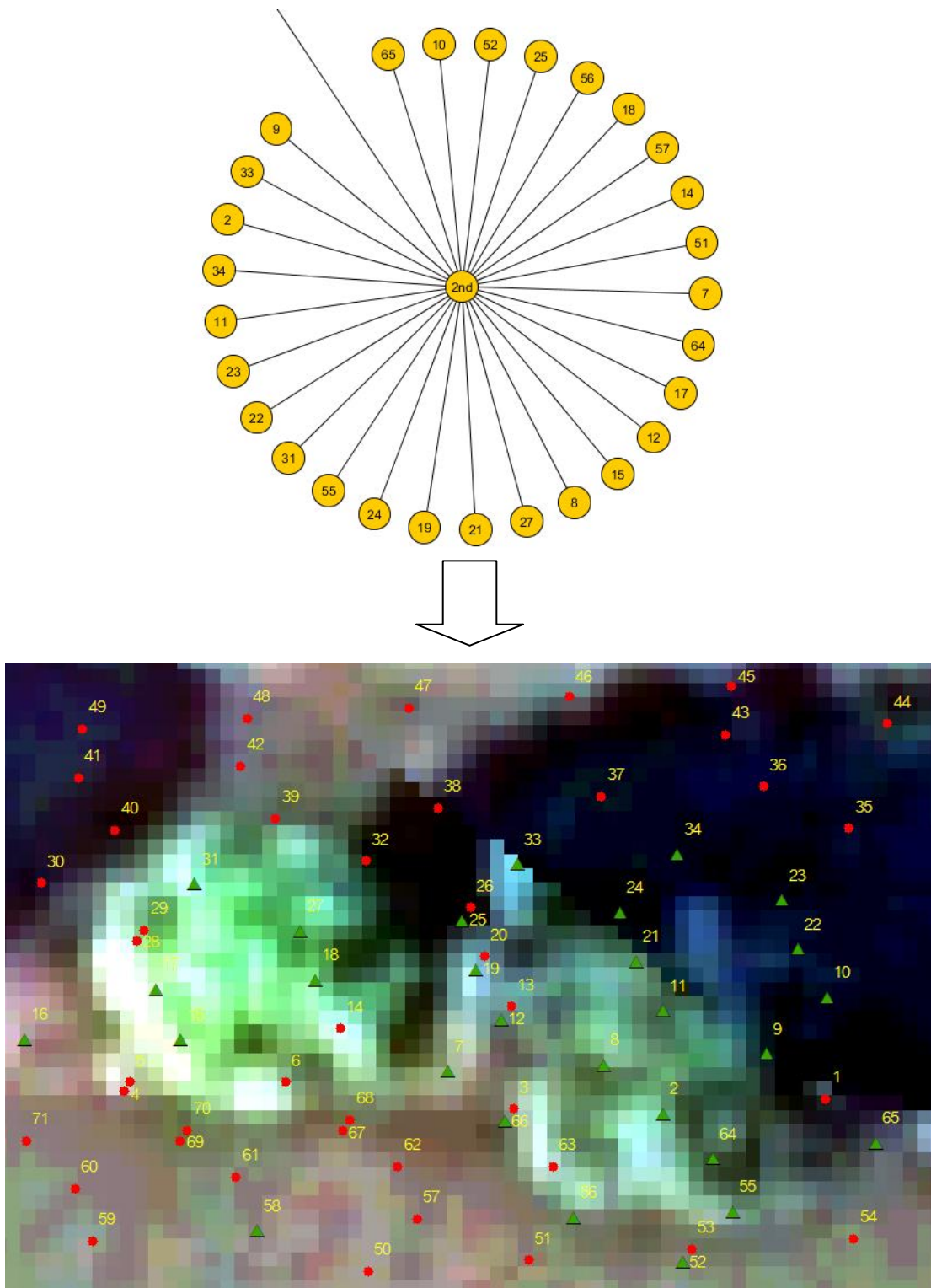
จากภาพที่ 4.19 กราฟแบ่งกลุ่มของกรณีศึกษาที่ 3 แบ่งออกเป็นทั้งสิ้น 4 ลำดับโดยลำดับแรกคือส่วนที่เป็นพื้นราบ และลำดับชั้นที่ 2-4 คือ ส่วนที่เป็นต้นไม้ เมื่อนำข้อมูลไวดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph มาเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศแสดงตามภาพที่ 4.20-4.23 โดยมีสัญลักษณ์ คือ

- แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแต่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ cluster graph ในแต่ละลำดับที่แสดงตามภาพ
- ▲ แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์แต่ละลำดับของ cluster graph



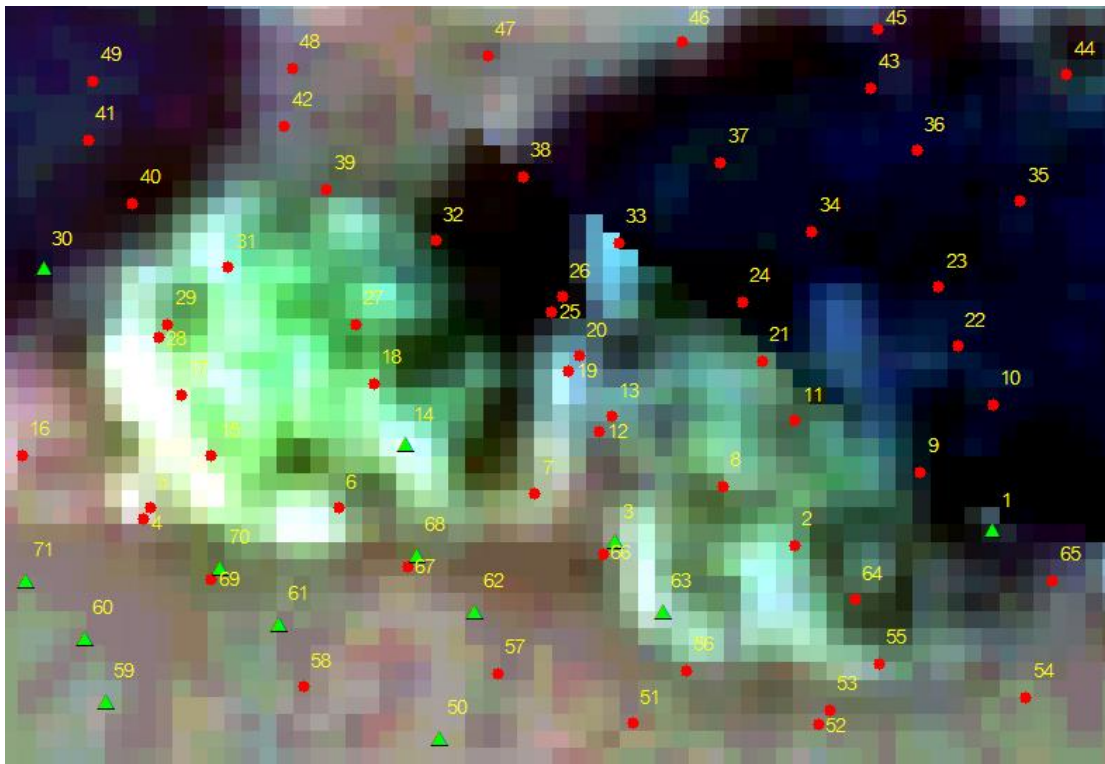
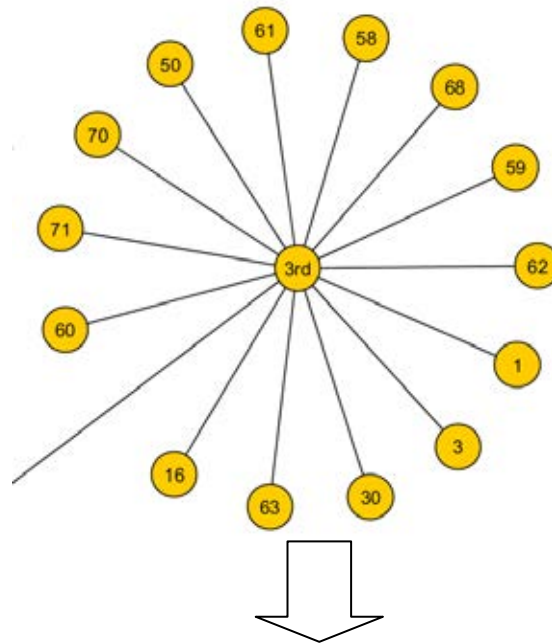
ภาพที่ 4.20 แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพที่ 4.20 พบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่บริเวณพื้นราบมีจุดที่ไม่ตรงกันหลังจากวิเคราะห์ด้วย cluster graph คือ จุดที่ 5 , 13 , 20 , 28 และ 29



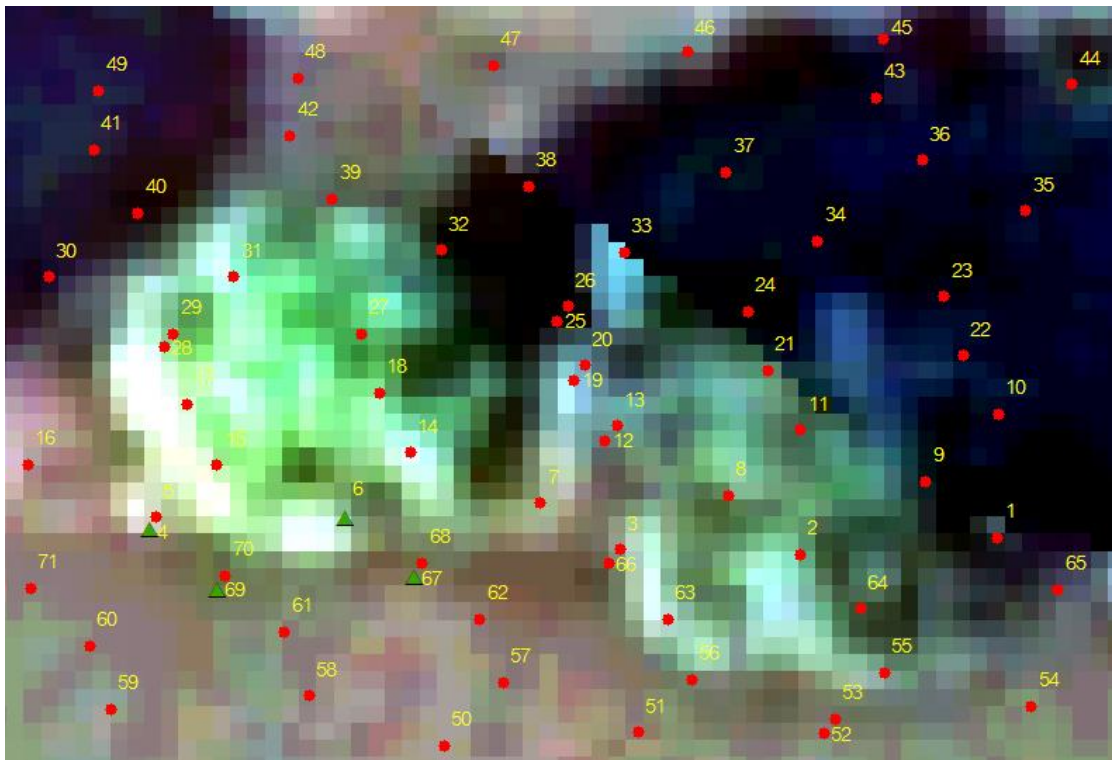
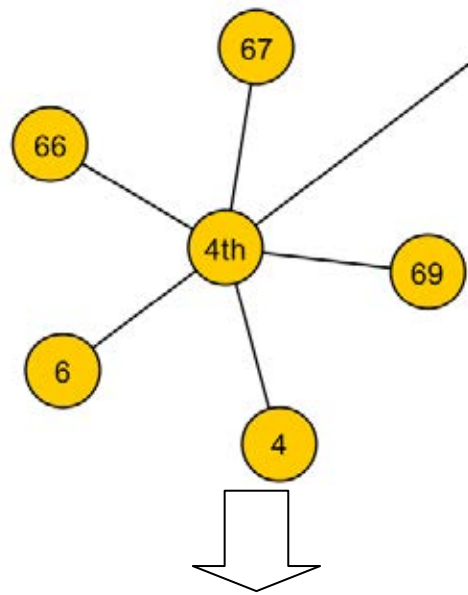
ภาพที่ 4.21 แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพที่ 4.21 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 9 , 10 , 16 , 22 , 23 , 24 , 34 , 52 , 56 , 58 , 65 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่นอกบริเวณวัตถุ



ภาพที่ 4.22 แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3

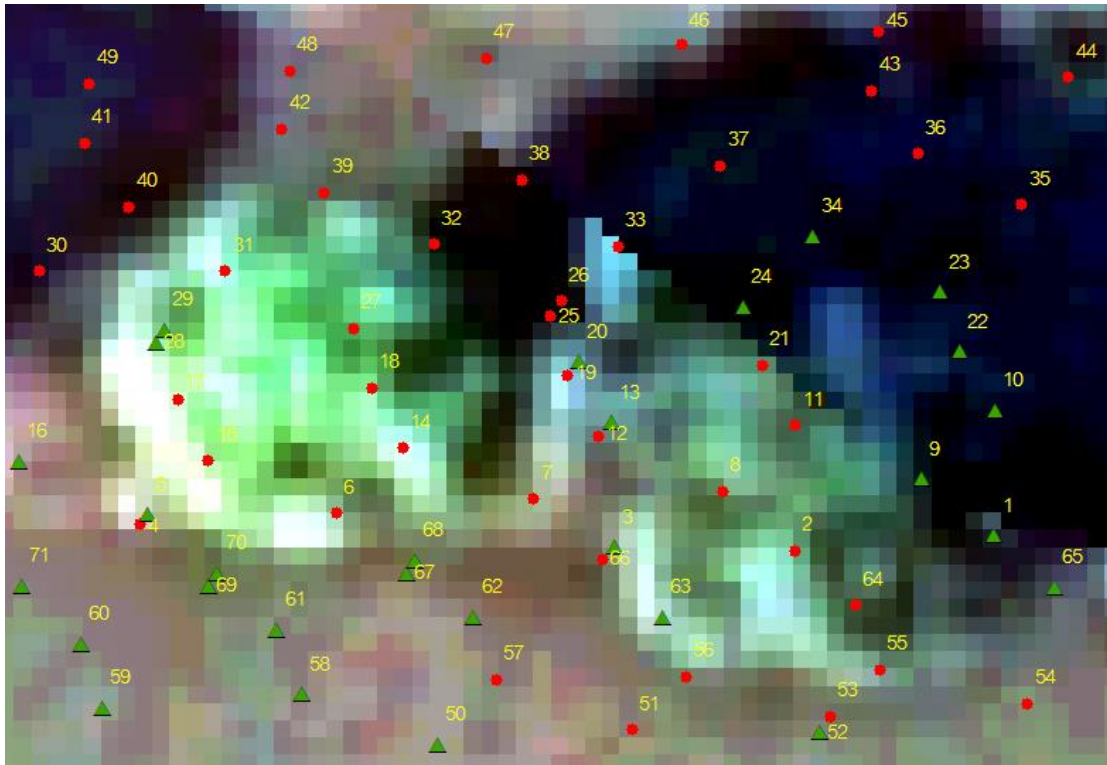
จากภาพที่ 4.22 พบจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 1 , 3 , 16 , 50 , 58 , 59 , 60 , 61 , 62 , 63 , 68 , 70 และ 71 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่นอกบริเวณวัตถุ



ภาพที่ 4.23 แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพที่ 4.23 พบจุดที่ไม่ตรงกัน เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 67 และ 69

4.3.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับภาพถ่ายทางอากาศ



- ▲ จุดที่ไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph
- จุดที่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph

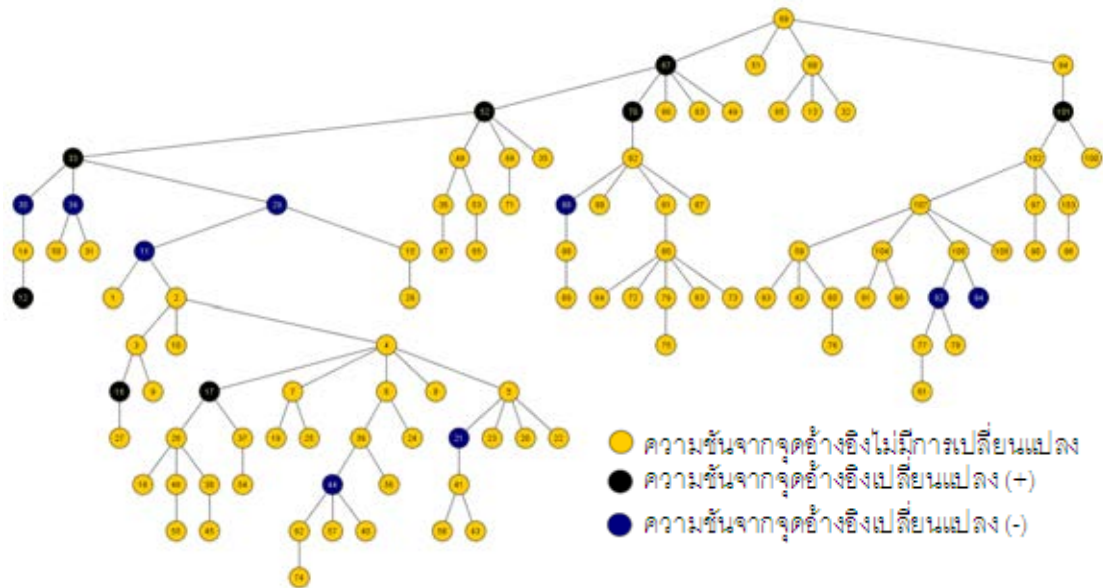
ภาพที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 3

จากภาพที่ 4.24 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 1, 3, 5, 9, 10, 16, 20, 22, 23, 24, 28, 29, 34, 50, 52, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 69, 70 และ 71 คิดเป็น 34.43 % และ จุดที่ตรงกันคิดเป็น 60.56 % ซึ่งเมื่อเทียบกับ 2 กรณีศึกษาก่อนหน้าพบว่ามีความไม่ตรงกันหลังจากใช้กราฟวิเคราะห์แล้วมากกว่า ซึ่งมีจุดที่ไม่ตรงกันถึง 28 จุด โดยอยู่ในบริเวณที่วิเคราะห์จากกราฟว่าเป็นพื้นราบมากกว่าบริเวณที่เป็นต้นไม้

4.4 กรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 4 ผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์บริเวณอาคารที่มีลักษณะเป็นอาคารหลังคาแบบราบ โดยมีข้อมูลบริเวณภายในอาคารและข้อมูลบริเวณโดยรอบ

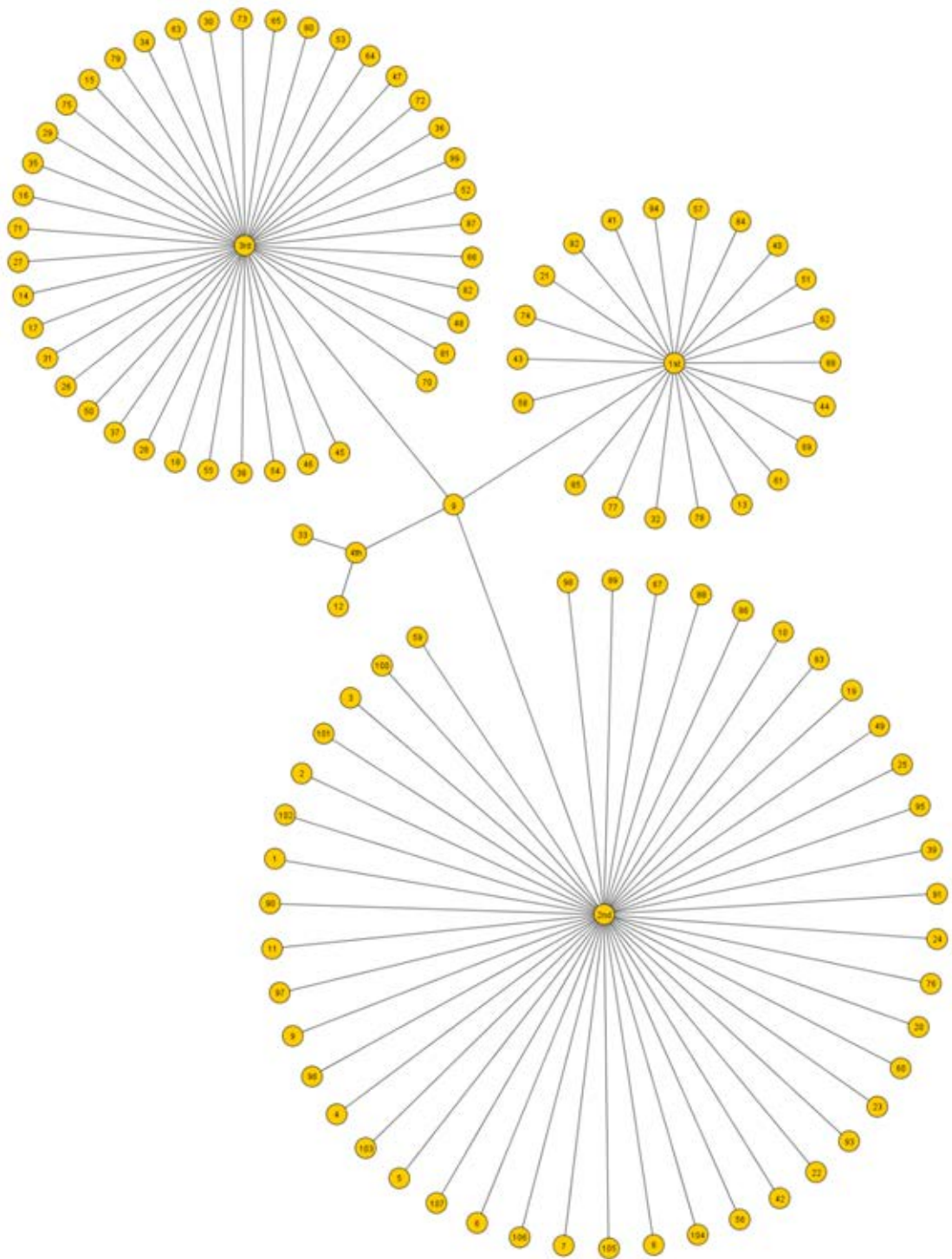
4.4.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 4



ภาพที่ 4.25 แสดงกราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.25 กราฟของกรณีศึกษาที่ 4 เป็นกราฟที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันมากนักโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับกราฟต้นไม้ของกรณีที่ 3 โหนดเริ่มต้นของกราฟคือ โหนดที่ 69 มีกิ่งที่กระจายออกไปในแนวกว้างไม่ลึกลงไปเหมือนใน 3 กรณีก่อนหน้านี้

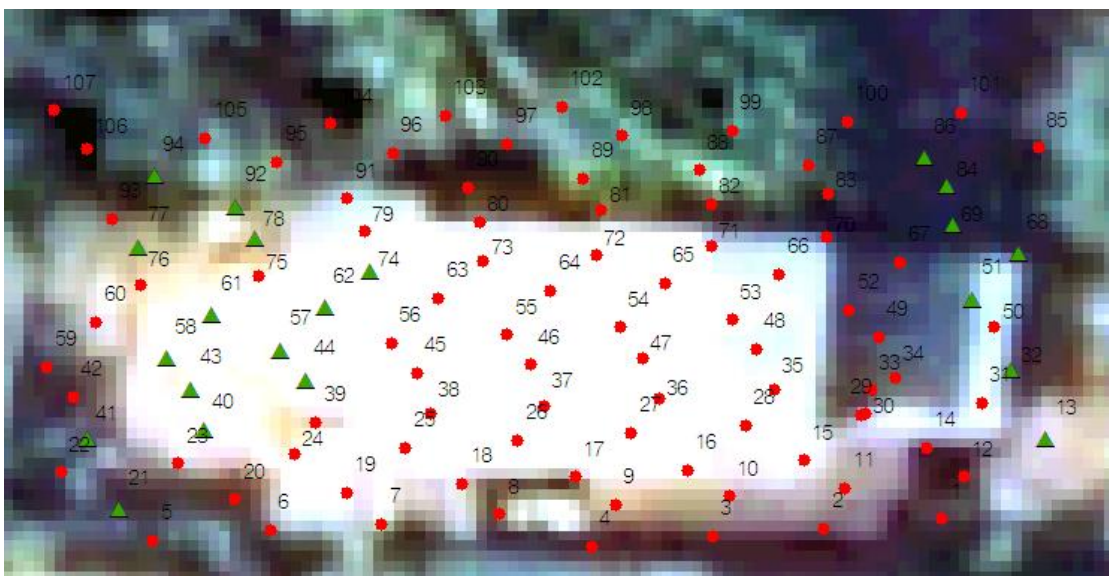
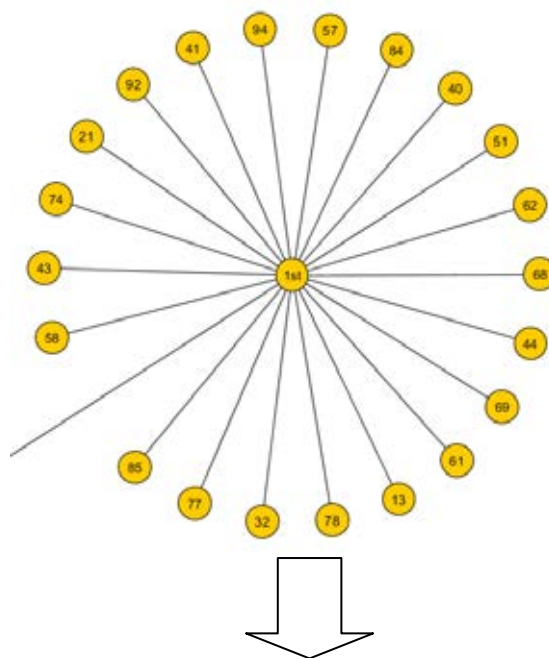
4.4.2 Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 4



ภาพที่ 4.26 แสดงกราฟแบ่งกลุ่มของกรณีศึกษาที่ 4

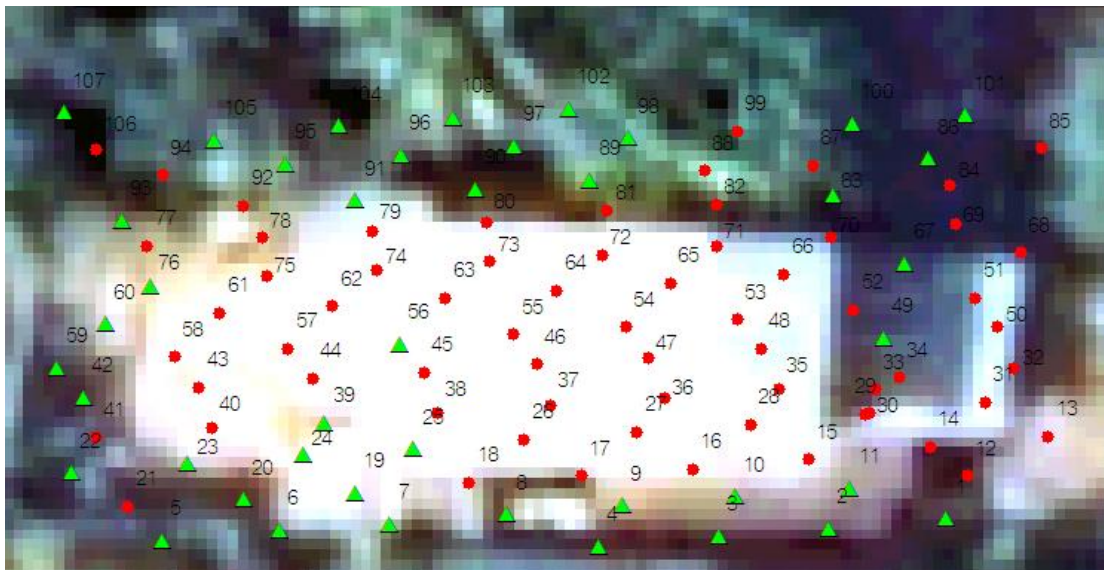
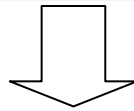
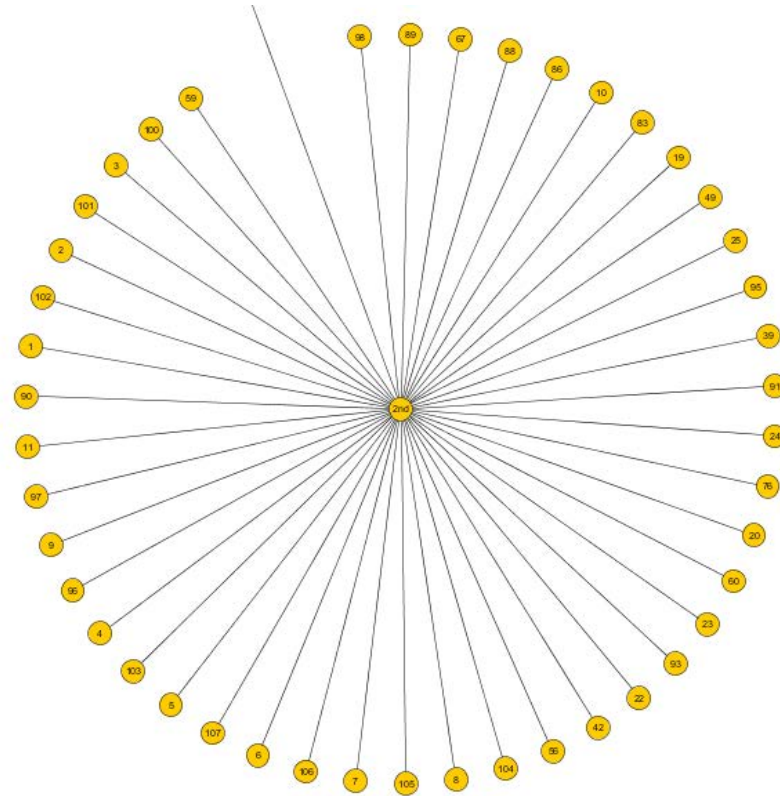
จากภาพที่ 4.26 กราฟแบ่งกลุ่มของกรณีศึกษาที่ 4 มีทั้งสิ้น 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่กำหนดให้เป็นพื้นราบ คือ กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่เป็นบริเวณตึก คือ กลุ่มที่ 2-4 ซึ่งเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศแสดงตามภาพที่ 4.27-4.30 โดยมีสัญลักษณ์ คือ

- แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแต่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ cluster graph ในแต่ละลำดับที่แสดงตามภาพ
- ▲ แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์แต่ละลำดับของ cluster graph



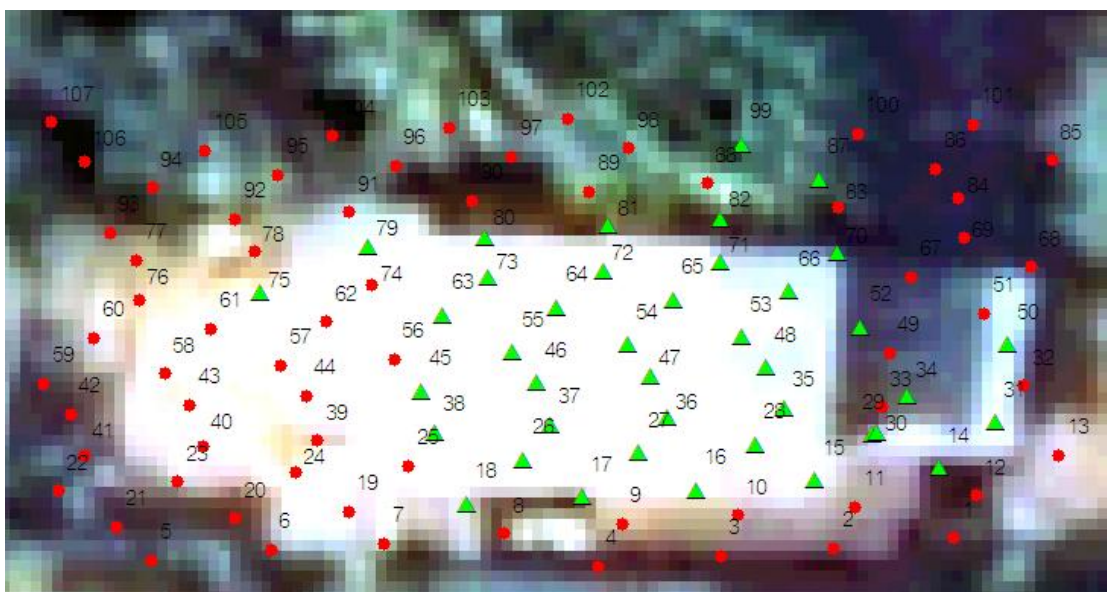
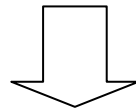
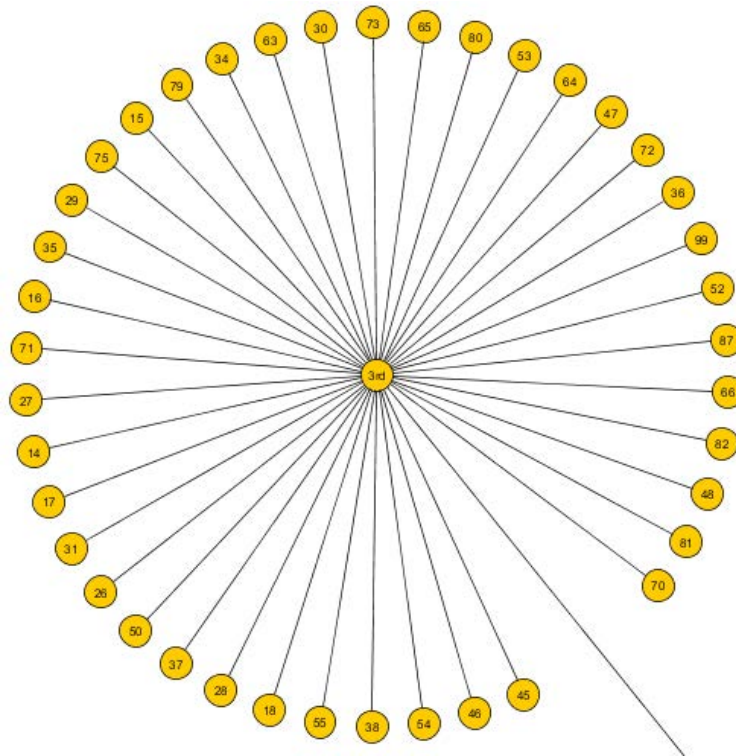
ภาพที่ 4.27 แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.27 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 13 , 21 , 41 , 69 , 77 , 84 , 86 , 92 และ 94



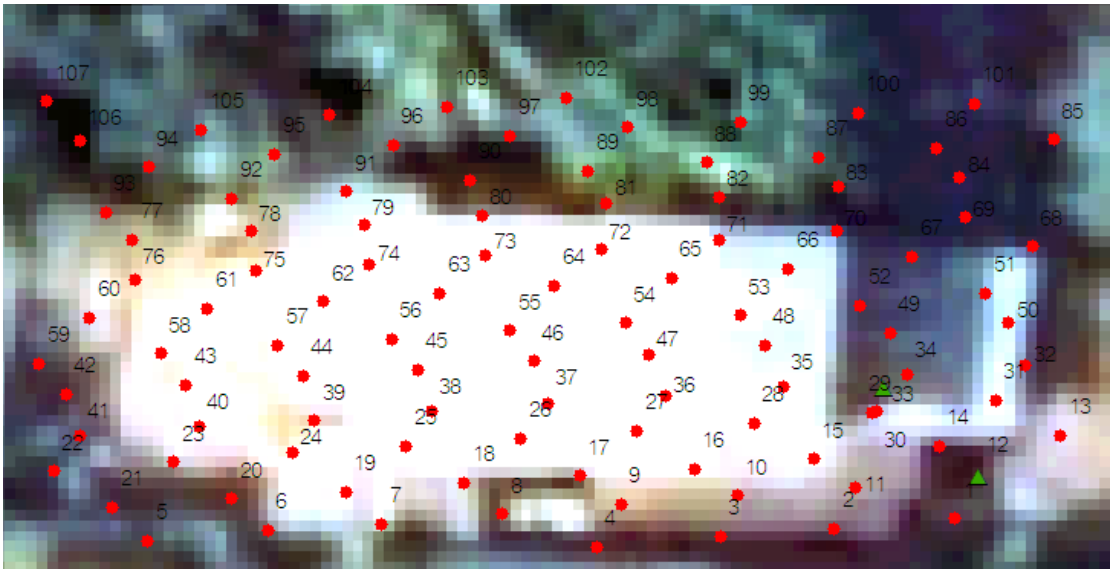
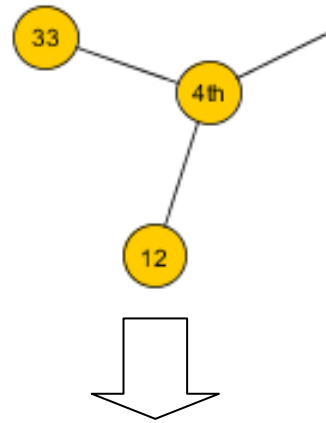
ภาพที่ 4.28 แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.28 เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่า มีจุดที่ไม่ตรงกันคือ จุดที่ 1 , 5 , 20 , 22 , 39 , 42 , 60 , 83 , 86 , 89 , 90 , 95 , 96 , 97 , 100 , 101 , 102 , 103 , 104 , 105 และ 107



ภาพที่ 4.29 แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4

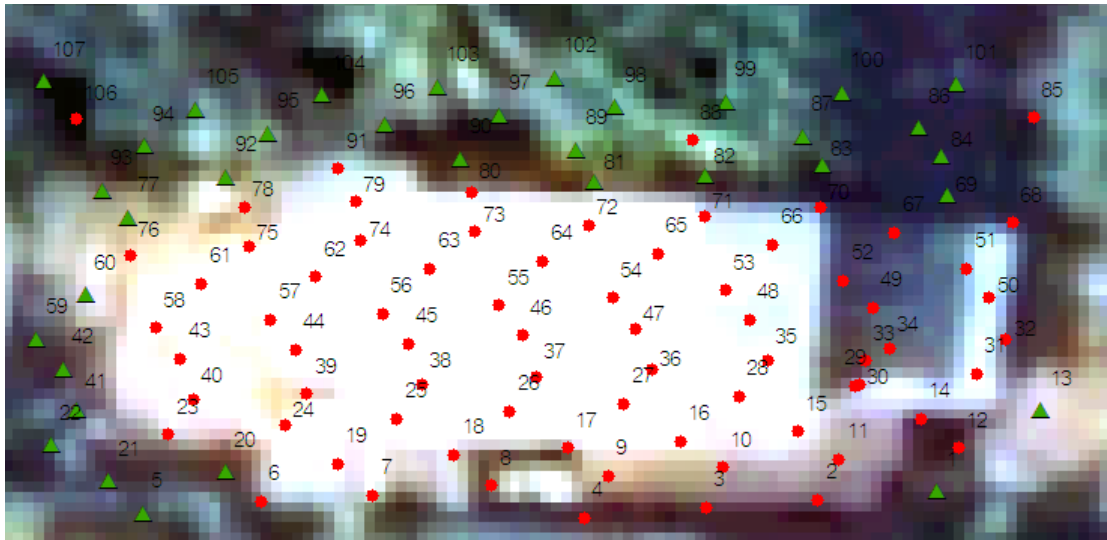
จากภาพที่ 4.29 พบว่ามีจุดที่ผิดไปเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 81 , 82 , 87 และ 99



ภาพที่ 4.30 แสดงกลุ่มที่ 4 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.30 เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 12

4.4.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับ ภาพถ่ายทางอากาศ



- ▲ จุดที่ไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph
- จุดที่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วย cluster graph

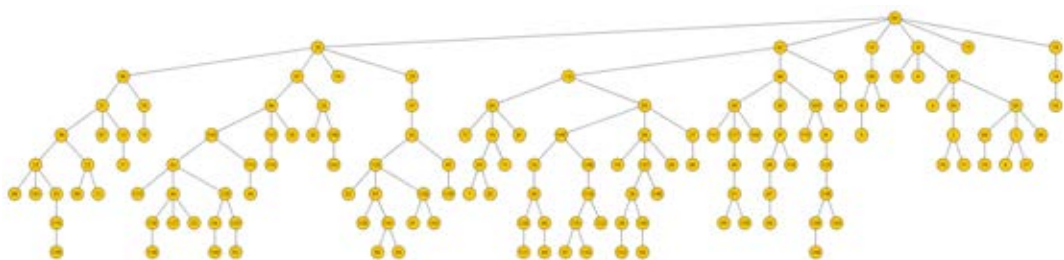
ภาพที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.31 มีจุดที่ไม่ตรงกันคือ จุดที่ 1, 5, 13, 20, 21, 22, 41, 42, 59, 60, 77, 81, 82, 83, 86, 87, 89, 90, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105 และ 107 คิดเป็น 32.71 % และจุดที่ตรงกันคิดเป็น 67.29 %

4.5 กรณีศึกษาที่ 5

ผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์ในบริเวณที่เป็นแปลงนา โดยเป็นพื้นที่ราบทั้งหมด

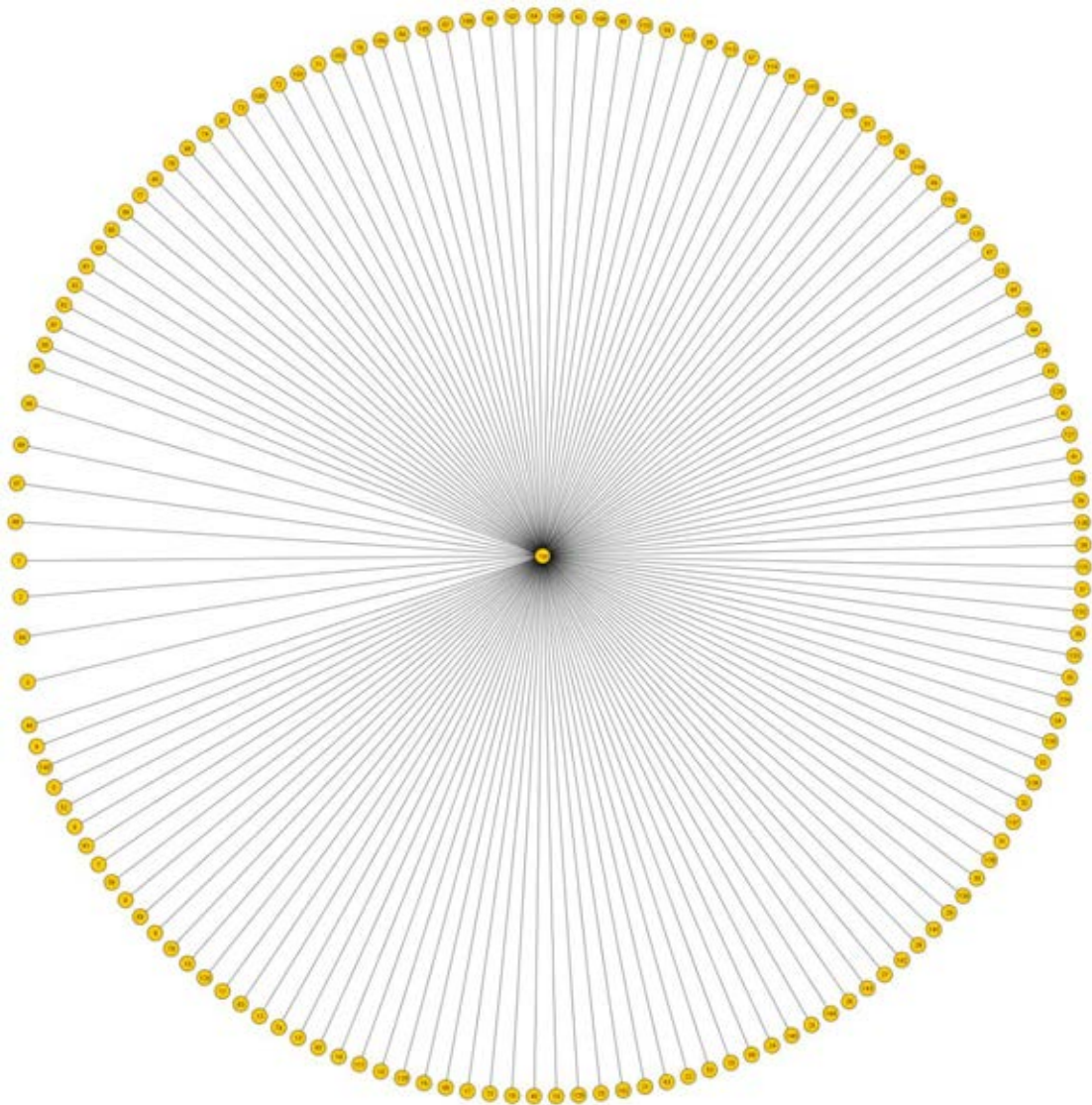
4.5.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 5



ภาพที่ 4.32 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 5

จากภาพที่ 4.32 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 5 เริ่มต้นที่ โหนดที่ 85 และไม่มีโหนดไหนเลยที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันแสดงถึงพื้นที่ที่เป็นที่ราบทั้งหมด

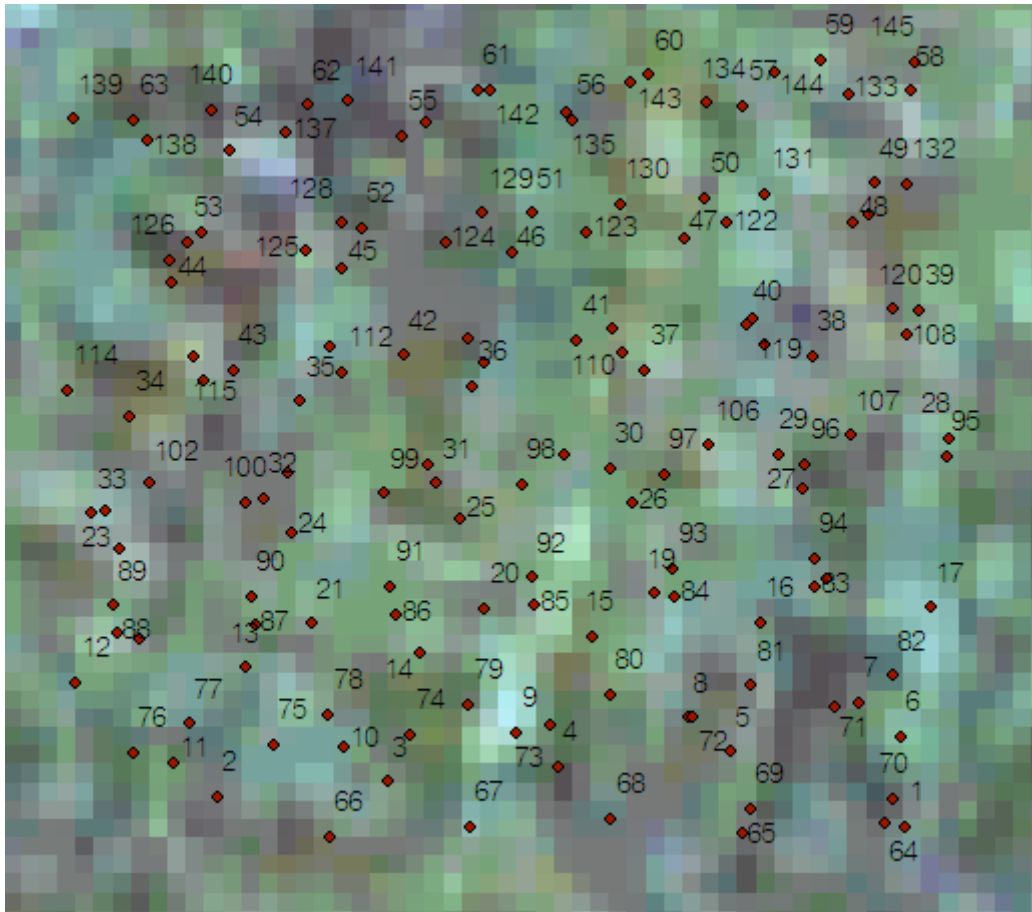
4.5.2 Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 5



ภาพที่ 4.33 แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 5

จากรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่ามีแค่ลำดับเดียวเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันเลย บ่งบอกว่าพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ราบ

4.5.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับ ภาพถ่ายทางอากาศ



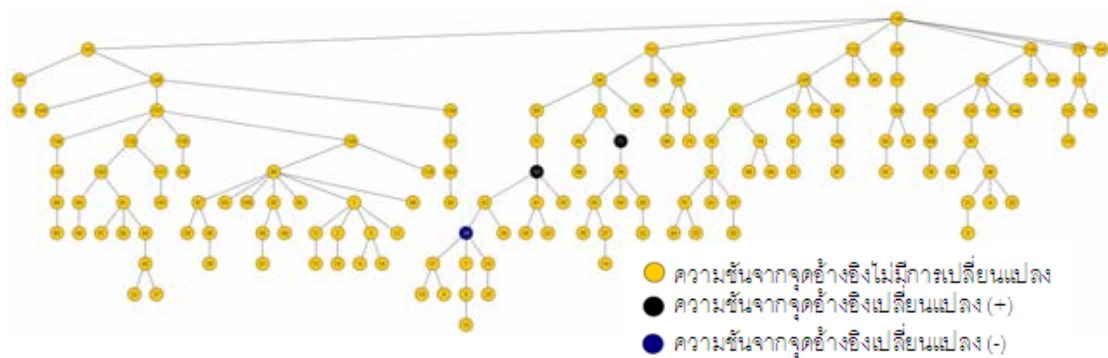
ภาพที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 5

จากภาพที่ 4.34 ไม่พบว่ามีจุดใดในภาพที่ไม่ตรงกันเลย ทำให้ในกรณีศึกษาที่ 5 นี้มีจุดทั้งหมดที่ตรงกัน 100 %

4.6 กรณีศึกษาที่ 6

ผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์บริเวณพื้นที่ที่กว้างกว่าทุกพื้นที่ศึกษาที่ผ่านมาและมีต้นไม้อยู่เพียงต้นเดียว

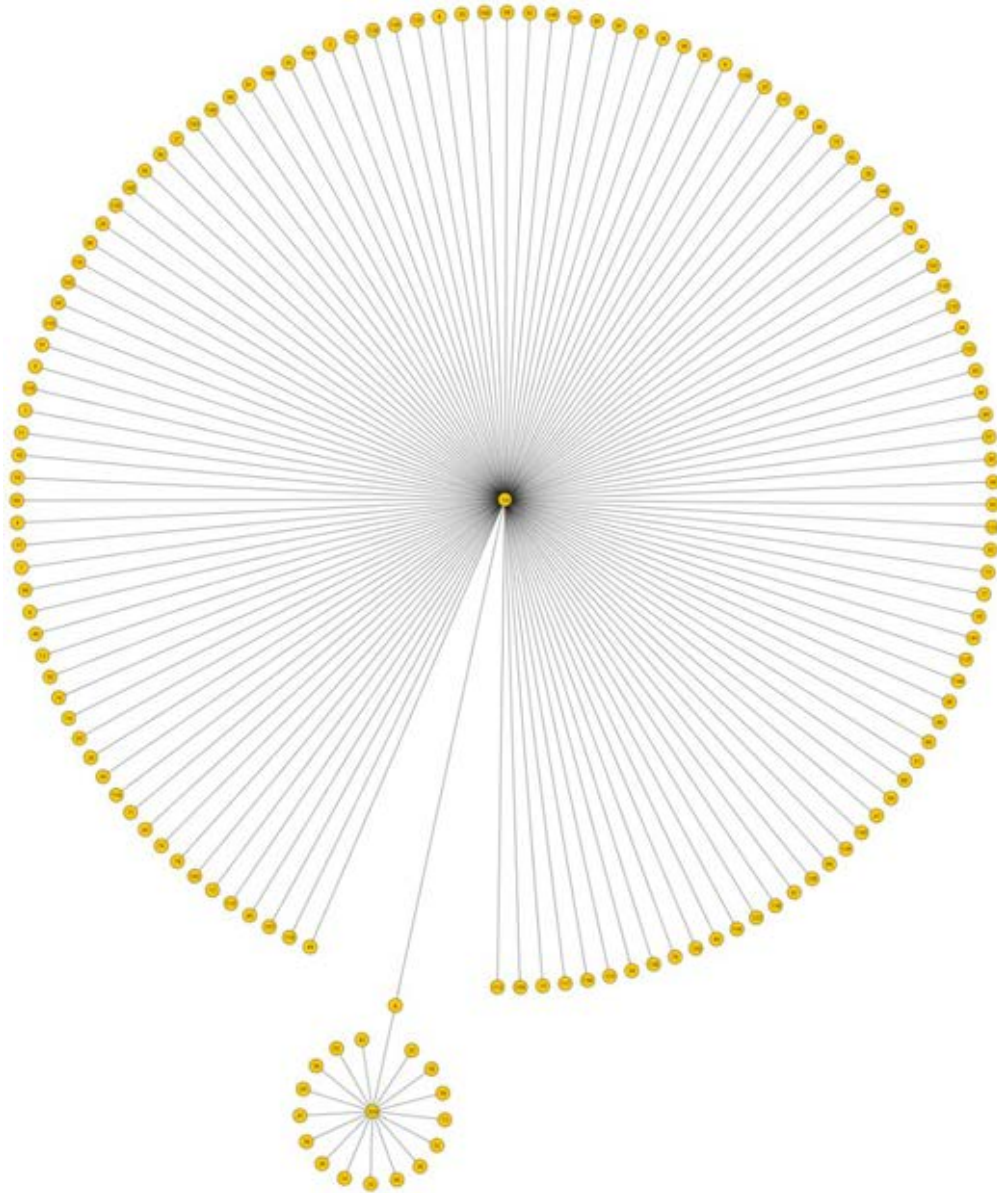
4.6.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 6



ภาพที่ 4.35 แสดงกราฟต้นไม้กรณีศึกษาที่ 6

จากภาพที่ 4.35 แสดงกราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 6 โดยเริ่มต้นจากโหนดที่ 130 มีการเปลี่ยนแปลงความชันน้อยครั้งมากเมื่อเทียบจากกรณีที่ 1-4

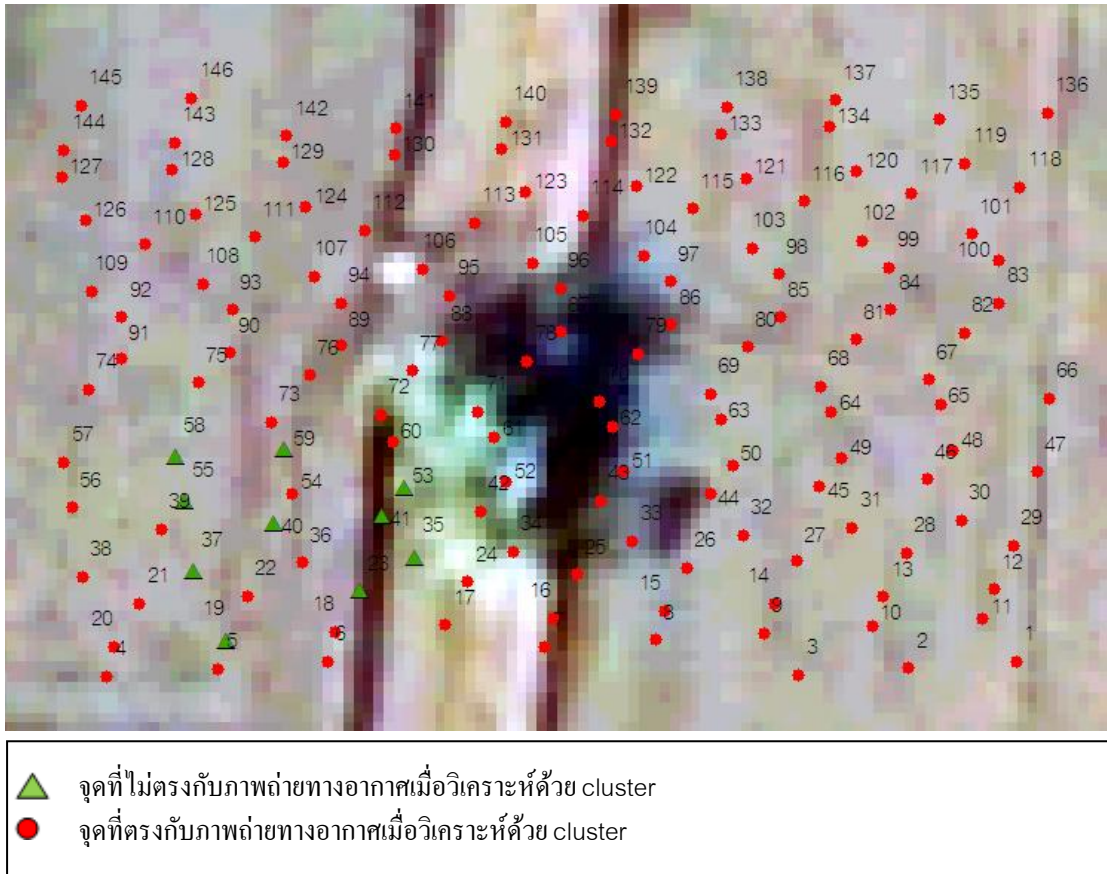
4.6.2 Cluster Graph กรณีศึกษาที่ 6



ภาพที่ 4.36 แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 6

จากภาพที่ 4.36 แสดงกราฟแบ่งกลุ่มของกรณีศึกษาที่ 6 ซึ่งมี 2 ลำดับ โดยลำดับแรกมีจำนวนสมาชิกมากกว่าลำดับที่สองอย่างชัดเจน สำหรับในกรณีศึกษานี้มีสมาชิกเพียงสองกลุ่ม และในกลุ่มที่กำหนดให้เป็นบริเวณต้นไม่มีจำนวนที่น้อยจึงทำการสรุปเป็นจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกันเพียงอย่างเดียว แสดงตามภาพที่ 4.37

4.6.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับภาพถ่ายทางอากาศ



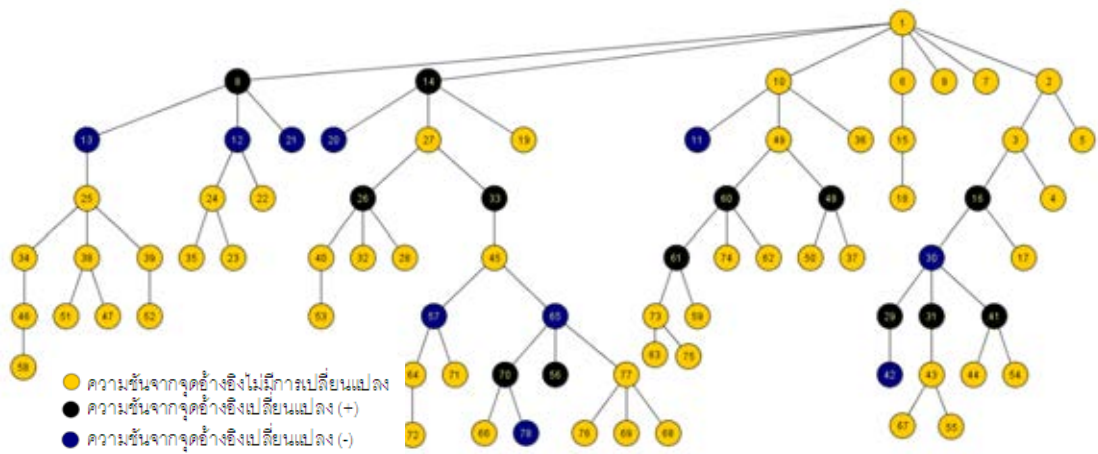
ภาพที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 6

จากภาพที่ 4.37 มีจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 19 , 23 , 35 , 40 , 41 , 37 , 55 , 58 , 59 , 53 คิดเป็น 6.89 % มีจุดที่ตรงกันคิดเป็น 93.10 %

4.7 กรณีศึกษาที่ 7

ในกรณีศึกษาที่ 7 เป็นกรณีศึกษาที่แตกต่างจากทุกกรณีเนื่องจากผู้วิจัยเลือกข้อมูลไลดาร์จากบริเวณที่เป็นบ้านพักอาศัยอยู่ติดกัน และบริเวณโดยรอบ ต่างจากกรณีศึกษาอื่นที่มีข้อมูลที่อยู่สูงกว่าพื้นดินอย่างเด่นชัดเพียงอย่างเดียวแต่ในกรณีนี้มีถึงสองอย่าง คือ บ้านสองหลัง

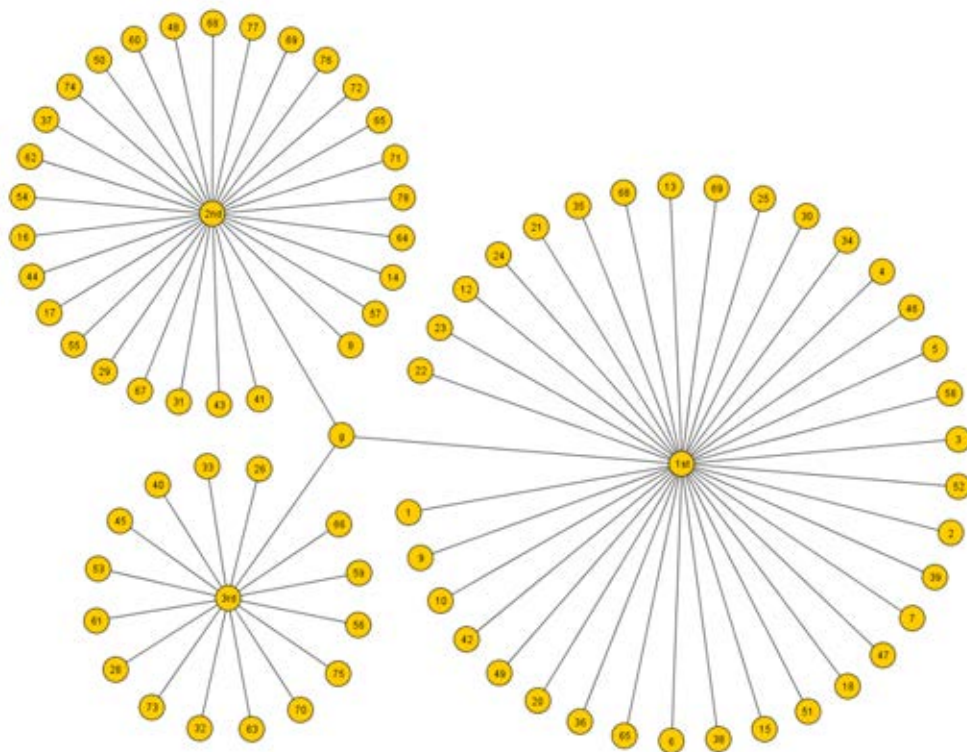
4.7.1 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 7



ภาพที่ 4.38 แสดงกราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 7

จากภาพที่ 4.38 กราฟต้นไม้ของกรณีศึกษาที่ 7 เริ่มต้นโหนดแรกจากโหนดที่ 1 โดยมีโหนดที่กำหนดให้เป็นบริเวณขอบอาคาร คือ โหนดที่ 8 , 14 , 60 , 48 , 16 , 57 , 65 , 78 , 29 , 31 , 41

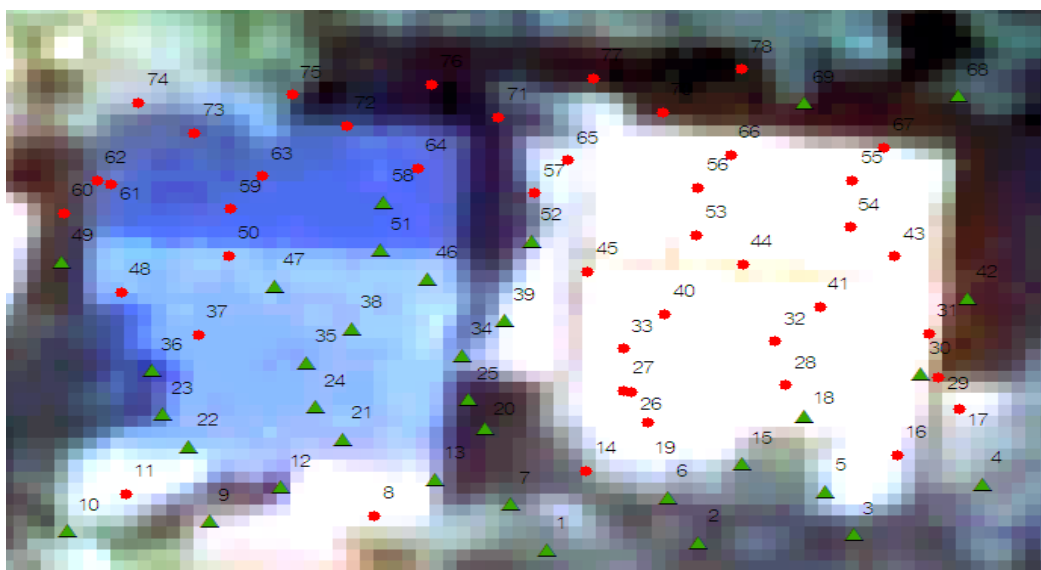
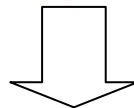
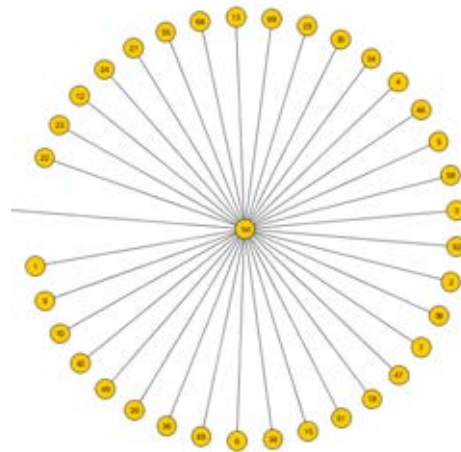
4.7.2 Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 7



ภาพที่ 4.39 แสดง Cluster Graph ของกรณีศึกษาที่ 7

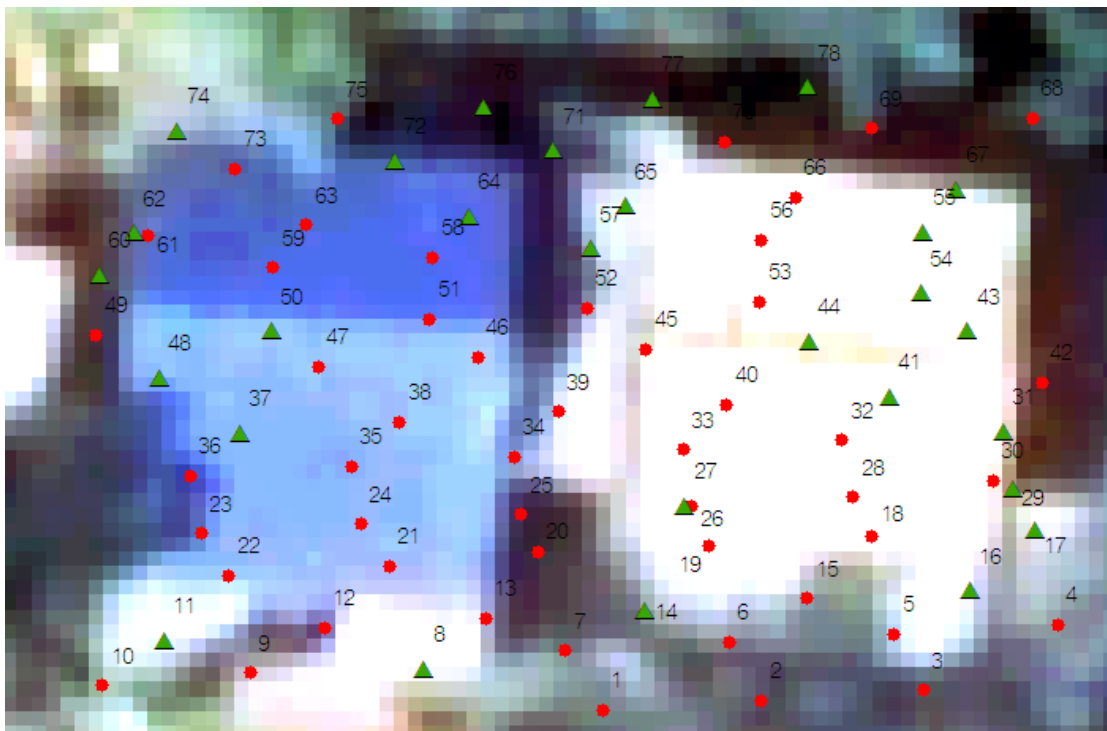
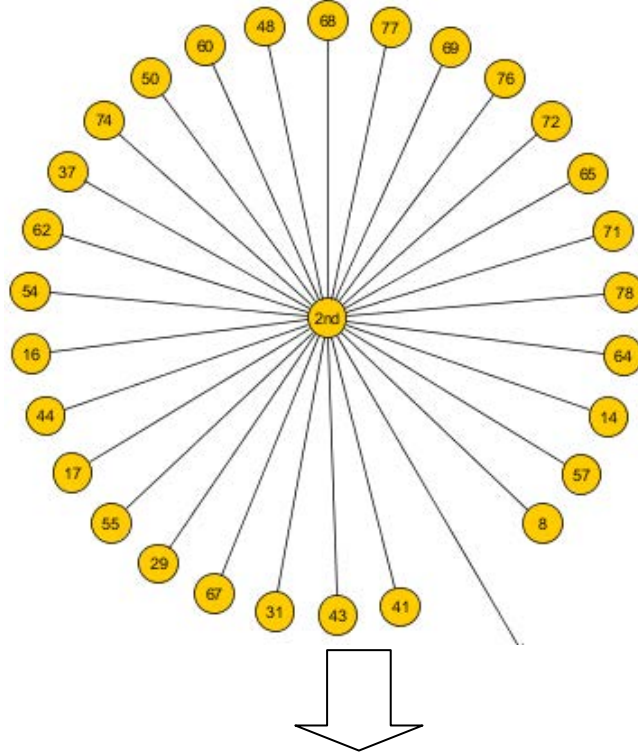
จากภาพที่ 4.39 กราฟแบ่งกลุ่มของกรณีศึกษาที่ 7 แบ่งออกเป็น 3 ลำดับ โดยลำดับที่มีจำนวนสมาชิกมากที่สุดคือ ลำดับแรก จากกราฟแบ่งกลุ่มในกรณีนี้เราจะแบ่ง ลำดับที่หนึ่ง คือ บริเวณพื้นราบ ลำดับที่สองและสาม คือ บ้านทั้งสองหลัง แสดงตามรูปที่ 4.40-4.42 โดยมีสัญลักษณ์ คือ

- แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแต่ไม่ได้อยู่ในความสัมพันธ์ของ cluster graph ในแต่ละลำดับที่แสดงตามภาพ
- ▲ แทนด้วยกลุ่มของจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์แต่ละลำดับของ cluster graph



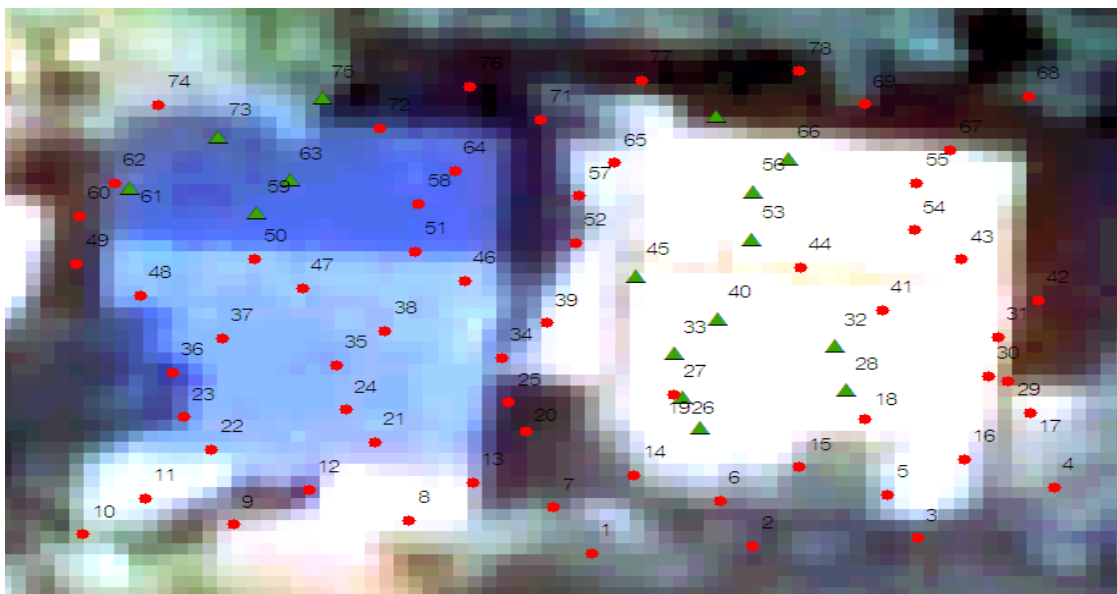
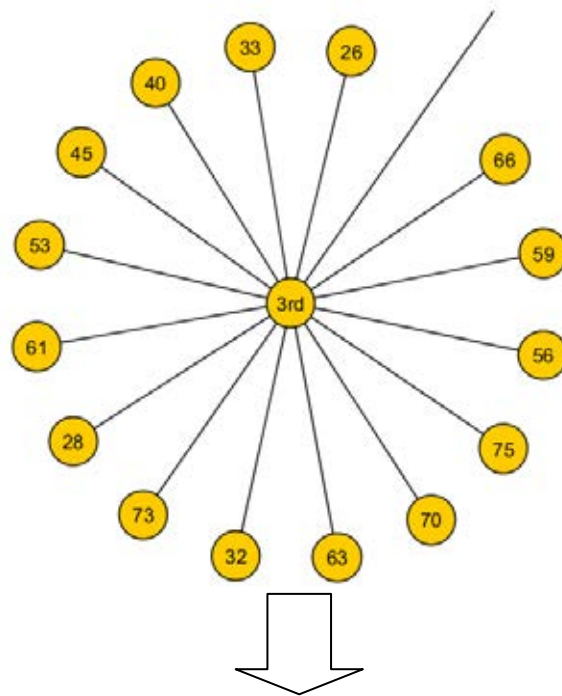
ภาพที่ 4.40 แสดงกลุ่มที่ 1 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7

จากภาพที่ 4.40 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 5 , 18 , 21 , 24 , 30 , 35 , 38 , 46 , 47 , 51 , 58 และ 65



ภาพที่ 4.41 แสดงกลุ่มที่ 2 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7

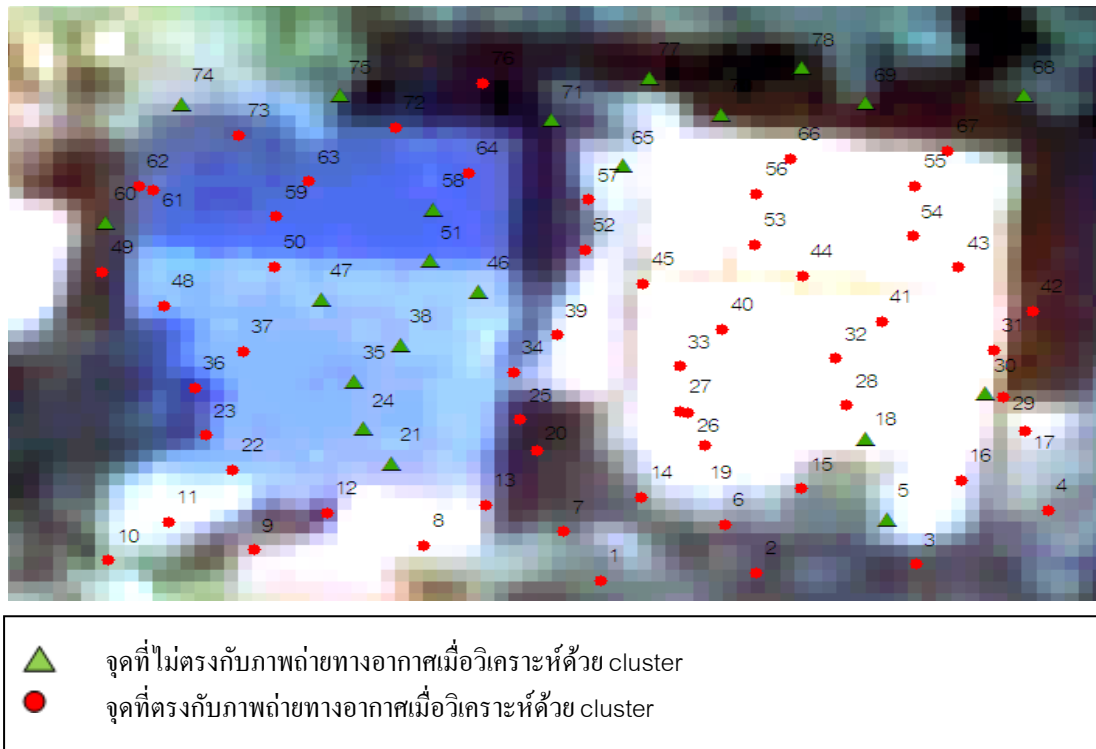
จากภาพที่ 4.41 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ จุดที่ 17 , 60 , 68 , 69 , 74 , 77 และ 78



ภาพที่ 4.42 แสดงกลุ่มที่ 3 ของ cluster graph ในกรณีศึกษาที่ 7

จากภาพที่ 4.42 พบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศคือ จุดที่ 70 และ

4.7.3 สรุปผลของข้อมูลไลดาร์ที่ผ่านการวิเคราะห์จาก cluster graph กับภาพถ่ายทางอากาศ

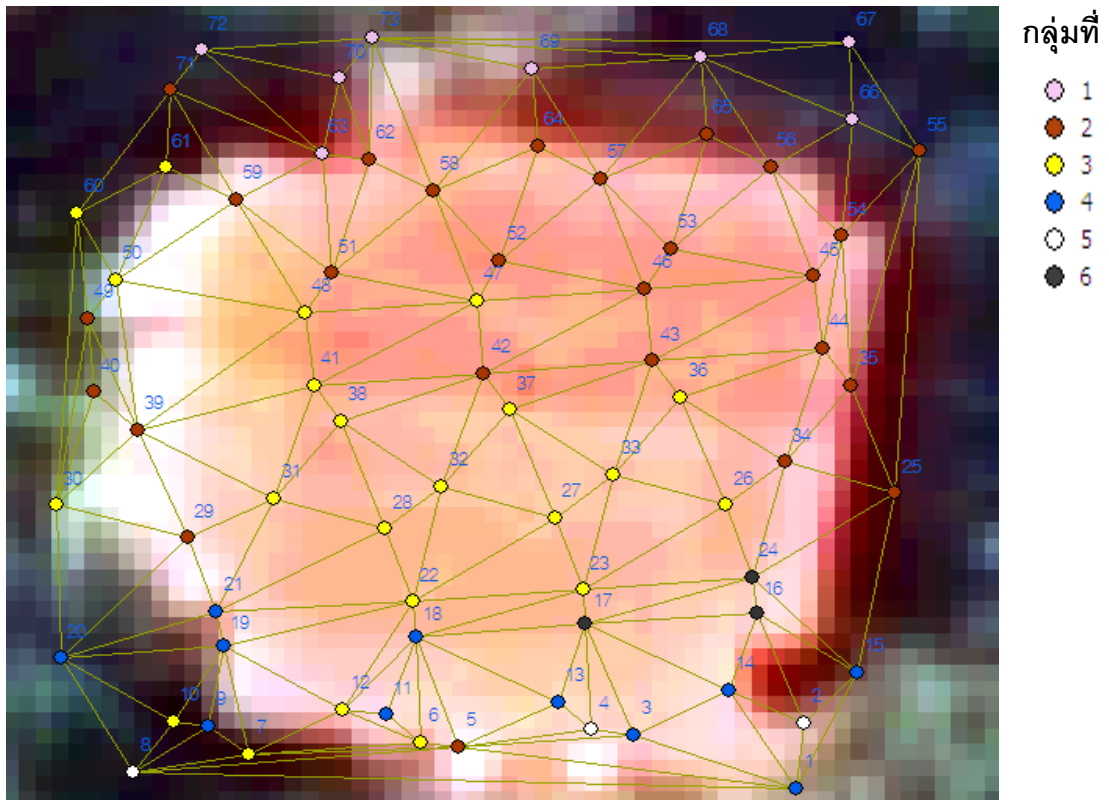


ภาพที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบจุดที่ไม่ตรงกันจากการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในกรณีศึกษาที่ 7

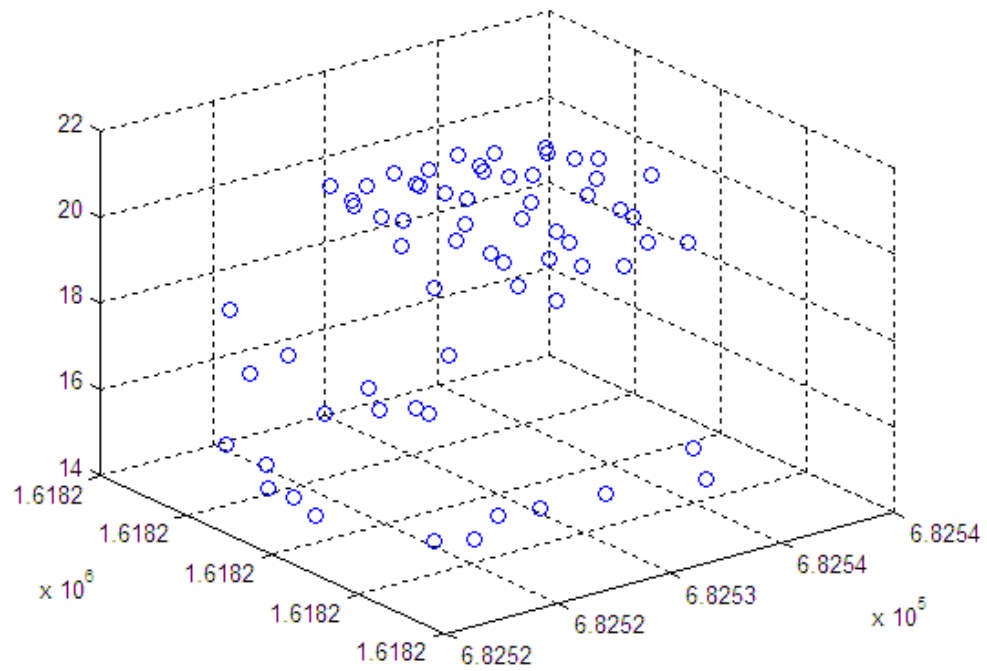
จากภาพที่ 4.43 เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบจุดที่ไม่ตรงกัน คือ จุดที่ 5 , 18 , 21 , 24 , 30 , 35 , 38 , 46 , 47 , 51 , 58 , 60 , 65 , 68 , 69 , 70 , 71 , 74 , 75 , 77 และ 78 คิดเป็น 26.92 % และจุดที่ตรงกันคิดเป็น 73.07 %

4.8 ผลสรุปของกราฟ

ในกลุ่มแรกที่ทำกรสร้าง cluster graph พบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่บริเวณภายนอกอาคารจริงในกลุ่มที่ 2-3 จึงมาพิจารณาว่ากลุ่ม 2 และ กลุ่มที่ 3 จะเป็นตัวแทนของข้อมูลไลดาร์จากบ้านแต่ละหลังหรือไม่ซึ่งจากการศึกษาพบว่าจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่าจุดที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 และ 3 กระจายอยู่ทั้งบ้านหลังทางซ้ายและบ้านหลังทางขวาจากกรณีนี้ทำให้เราสรุปได้ว่าเทคนิคการประยุกต์ใช้กราฟวิธีนี้ไม่สามารถแยกอาคารที่อยู่ติดกันหรือภายในบริเวณภาพเดียวกันได้ โดยเราสามารถแสดงผลสรุปของการวิเคราะห์ด้วย cluster graph และ ข้อมูลลักษณะวัตถุที่ถูกดึงออกมา ได้ตามภาพที่ 4.44 – 4.56



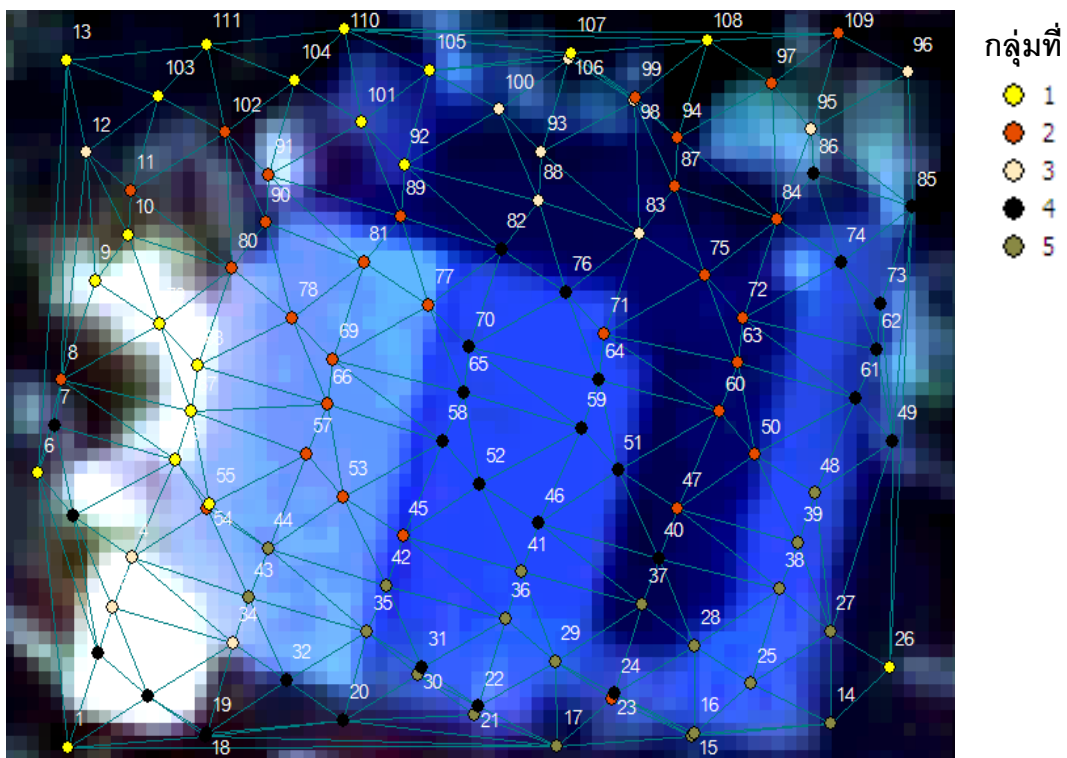
ภาพที่ 4.44 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 1



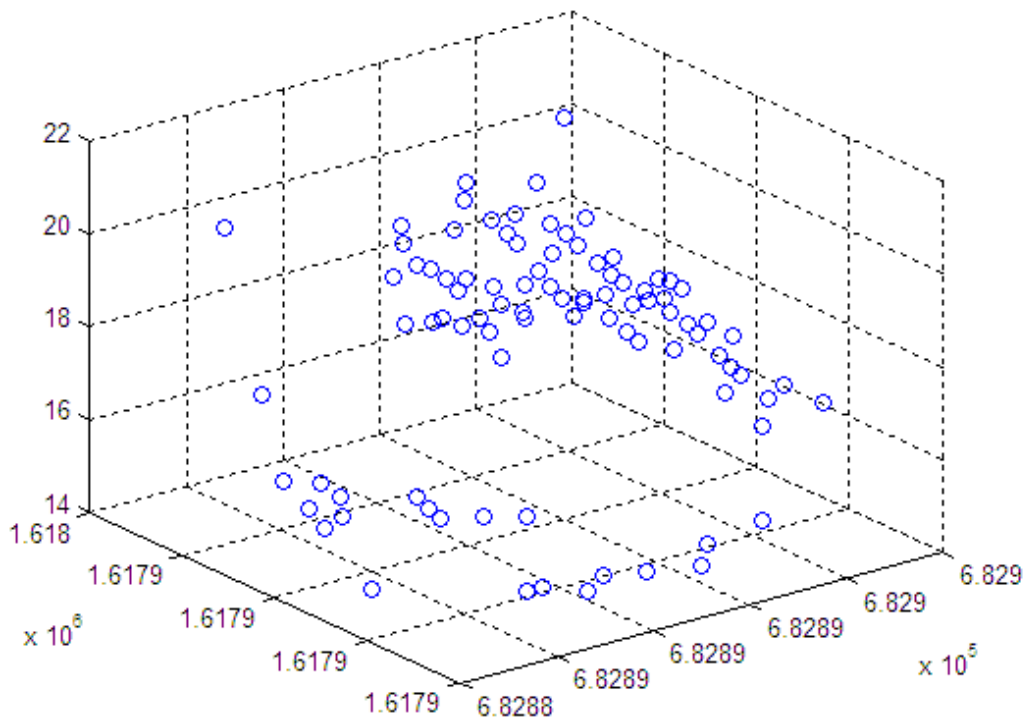
ภาพที่ 4.45 แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 1

จากภาพที่ 4.44 พบว่าจากจุดที่อยู่ในลำดับของความสัมพันธ์ที่ 1 จะอยู่ใกล้กับจุดที่เป็น โหนดเริ่มต้น สำหรับในความสัมพันธ์ลำดับที่ 2 จะพบว่าส่วนที่อยู่ใกล้กับโหนดแม่ของความสัมพัธ์จะอยู่บริเวณแนวขอบของอาคารแต่ก็มีจุดที่ลึกเข้าไปถึงกลางอาคาร คือ จุดที่ 42 และ 43 และพบจุดที่ไม่อยู่ภายในอาคาร คือ จุดที่ 25 , 55 และ 71 ในความสัมพันธ์ลำดับที่สาม พบว่า จุดส่วนใหญ่จะอยู่ภายในอาคารและอยู่ถัดจากความสัมพันธ์ลำดับที่สองเข้าไปโดยจะเกาะกลุ่มบริเวณช่วงกลางอาคารแต่ก็มีบางส่วนที่อยู่บริเวณขอบอาคาร ได้แก่จุดที่ 6 , 12 , 30 และ 50 มีบางจุดที่อยู่ภายนอกอาคาร คือ จุดที่ 7 , 10 , 60 และ 61 ความสัมพันธ์ลำดับที่ 4 พบว่า จุดที่อยู่ในความสัมพันธ์นี้ไม่ได้ลึกเข้าไปในอาคารแต่อยู่ที่ขอบอีกฟากหนึ่งจากจุดเริ่มต้นมีจุดที่ไม่อยู่ภายในอาคาร คือ จุดที่ 1 , 15 และ 20 ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 5 พบว่าจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์นี้ อยู่บริเวณขอบอาคารและนอกขอบอาคารได้แก่จุดที่ 2 และ 8 ความสัมพันธ์ลำดับที่ 6 ซึ่งเป็นลำดับสุดท้ายพบว่าจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์นี้อยู่ภายในอาคารทั้งหมดได้แก่จุดที่ 16 , 17 และ 24

จากภาพที่ 4.45 พบว่าจุดส่วนใหญ่ที่ได้จะลอยอยู่เกาะกลุ่มกันแต่ก็พบว่ามีบางส่วนที่อยู่ต่ำกว่าจุดอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของขอบอาคารหรือวัตถุเล็กๆที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความสูง



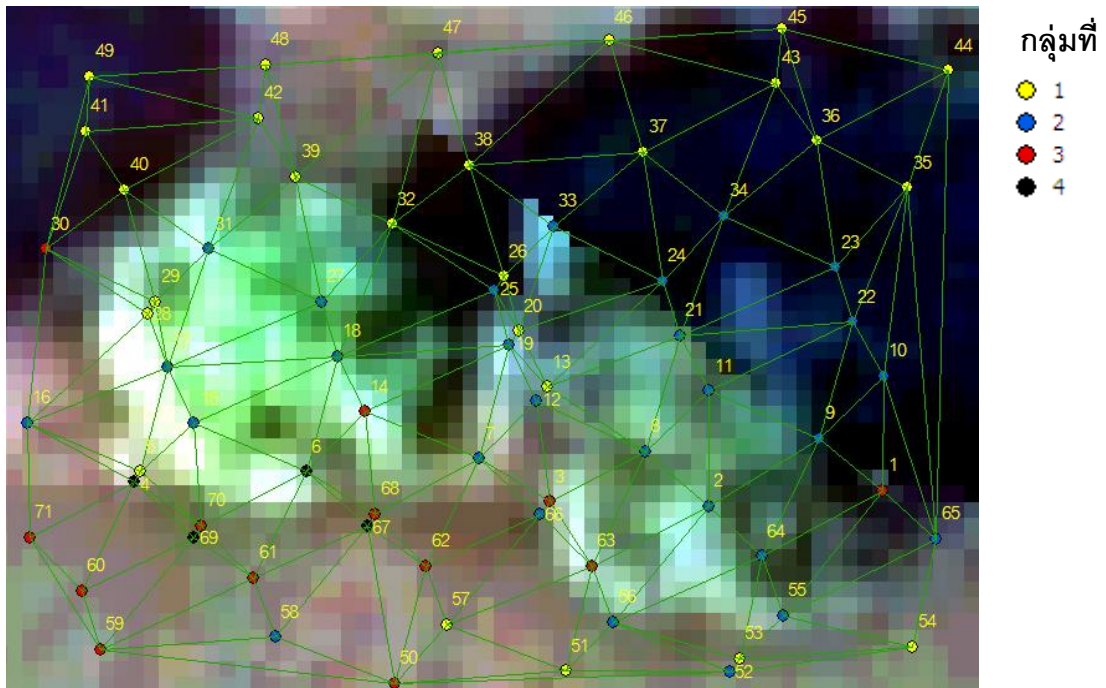
ภาพที่ 4.46 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 2



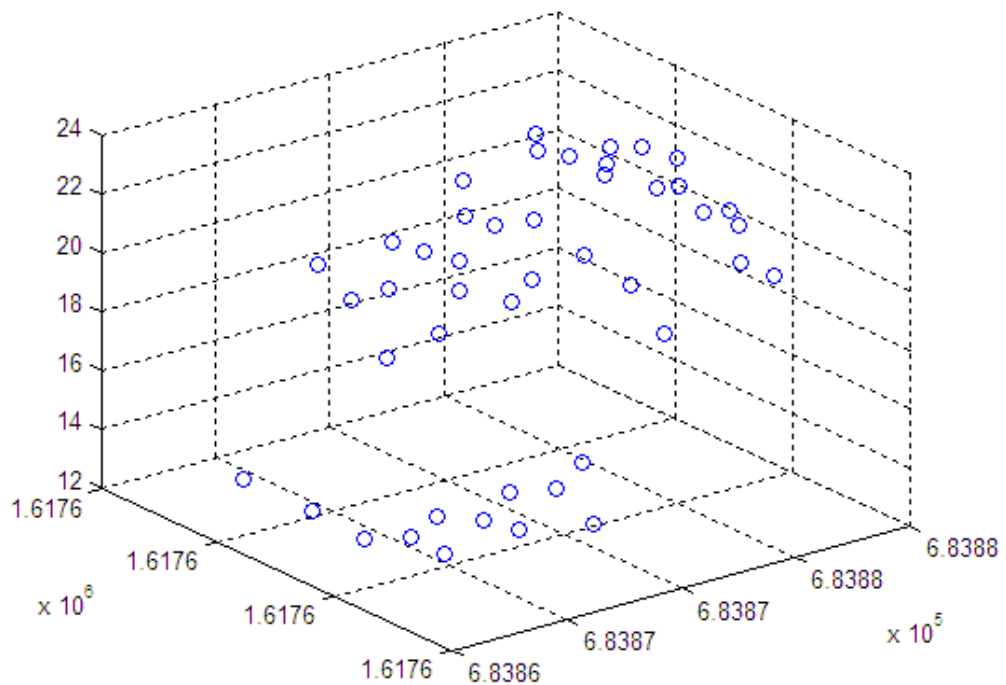
ภาพที่ 4.47 แสดงจุดที่ดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 2

จากภาพที่ 4.46 พบว่าจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 1 จะอยู่บริเวณนอกอาคารและเกาะกลุ่มกันโดยที่มีจุดที่ไม่เกาะกลุ่มกับจุดอื่นคือ จุดที่ 1 และ 25 และมีจุดที่อยู่เข้าไปในอาคารคือ จุดที่ 55 , 56 , 67 และ 68 ซึ่งอยู่บริเวณขอบอาคาร สำหรับจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์ลำดับที่สองพบว่าจุดจะอยู่ลึกเข้ามาภายในอาคารมากขึ้นแต่พบจุดที่อยู่นอกอาคาร คือ จุดที่ 8 , 11 , 90 , 91 , 94 , 97 และ 99 ความสัมพันธ์ลำดับที่สามพบว่าจุดไม่ได้ลึกเข้าไปจากความสัมพันธ์ในลำดับที่สองอย่างที่ควรจะเป็นแต่กลับพบว่าจุดเกาะกลุ่มอยู่บริเวณขอบอาคารด้านบนของภาพและมีจุดที่อยู่นอกอาคารคือ จุดที่ 3 , 4 , 12 , 95 และ 96 ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 4 พบว่าจุดที่เกาะกลุ่มลึกเข้ามาในอาคาร บริเวณขอบอาคาร และจุดที่อยู่ภายนอกอาคารคือ จุดที่ 2 , 5 , 7 , 18 , 33 , 49 , 85 และ 86 ความสัมพันธ์ลำดับที่ 5 พบว่าจุดส่วนใหญ่เกาะกลุ่มบริเวณขอบอาคารด้านล่างของภาพและไม่มีจุดที่อยู่นอกอาคาร

จากภาพที่ 4.47 พบว่าจุดส่วนใหญ่ที่ได้จะลอยอยู่เกาะกลุ่มกันแต่ก็พบว่ามีบางส่วนที่อยู่ต่ำกว่าจุดอื่นๆและมีอยู่สองจุดที่ไม่เกาะกลุ่มรวมทั้งอยู่สูงกว่าจุดอื่นๆ



ภาพที่ 4.48 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 3

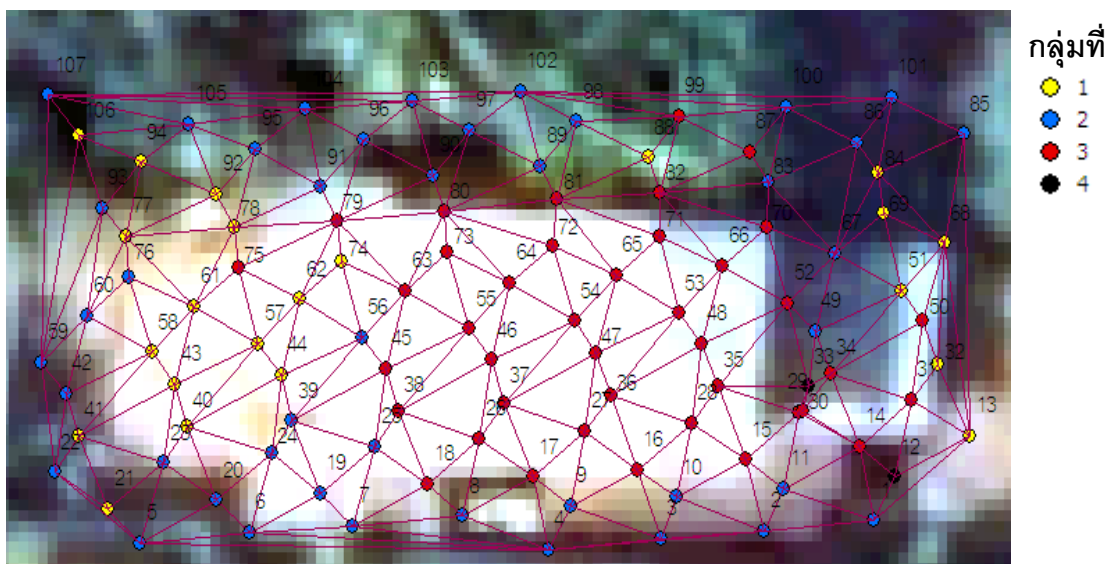


ภาพที่ 4.49 แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 3

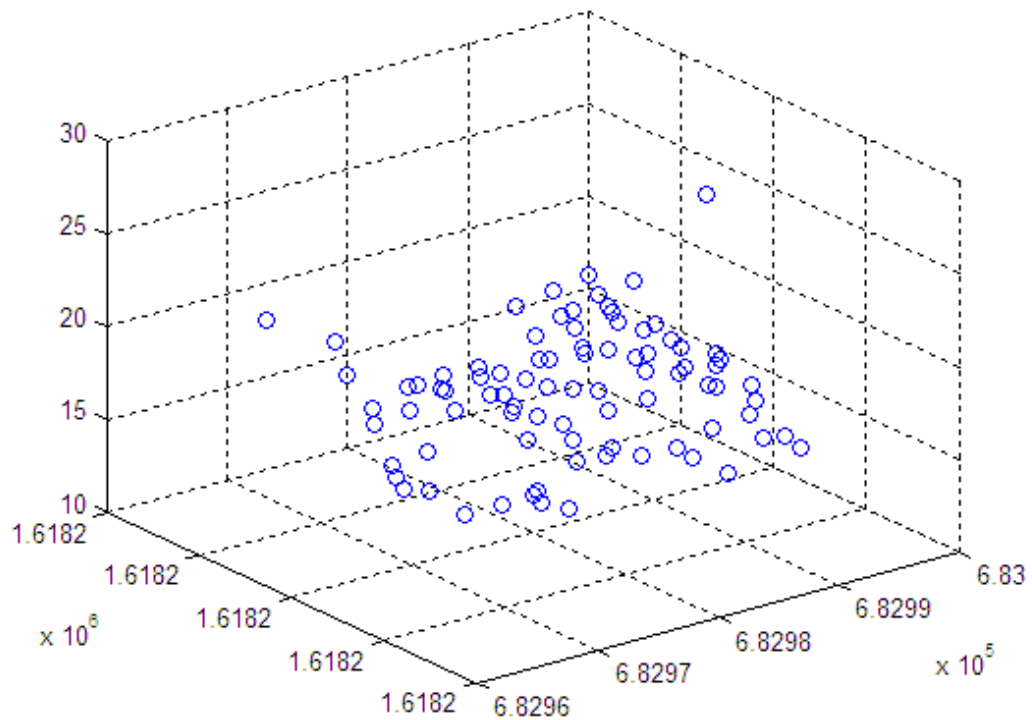
จากภาพที่ 4.48 พบว่าจุดที่อยู่ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 1 จออยู่นอกบริเวณต้นไม้ทั้งด้านบนและด้านล่างของภาพซึ่งมีบางจุดที่อยู่บริเวณต้นไม้ คือ จุดที่ 5 , 13 , 20 , 28 และ 29

สำหรับความสัมพันธ์ลำดับที่ 2 จุดส่วนใหญ่จะอยู่ภายในบริเวณต้นไม้ แต่ก็พบว่า มีบางจุดที่ไม่อยู่ภายในบริเวณต้นไม้ คือ จุดที่ 10 , 12 , 22 , 23 , 24 , 34 , 52 และ 58 ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 3 พบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่นอกบริเวณต้นไม้ อยู่บริเวณด้านล่างของภาพ โดยมีจุดที่อยู่ในบริเวณต้นไม้เพียงสามจุดคือ 3 , 14 และ 53 ความสัมพันธ์ลำดับที่ 4 พบว่ามีอยู่ 3 จุดในความสัมพันธ์นี้และอยู่ภายในบริเวณต้นไม้ทั้ง 3 จุด

จากภาพที่ 4.49 จุดส่วนใหญ่จะเกาะกลุ่มกันด้านบน แต่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงในช่วงตั้งแต่ 14-22 ซึ่งมีช่วงของความสูงที่ค่อนข้างกว้างกว่ากรณีอื่น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชันที่ค่อนข้างมาก



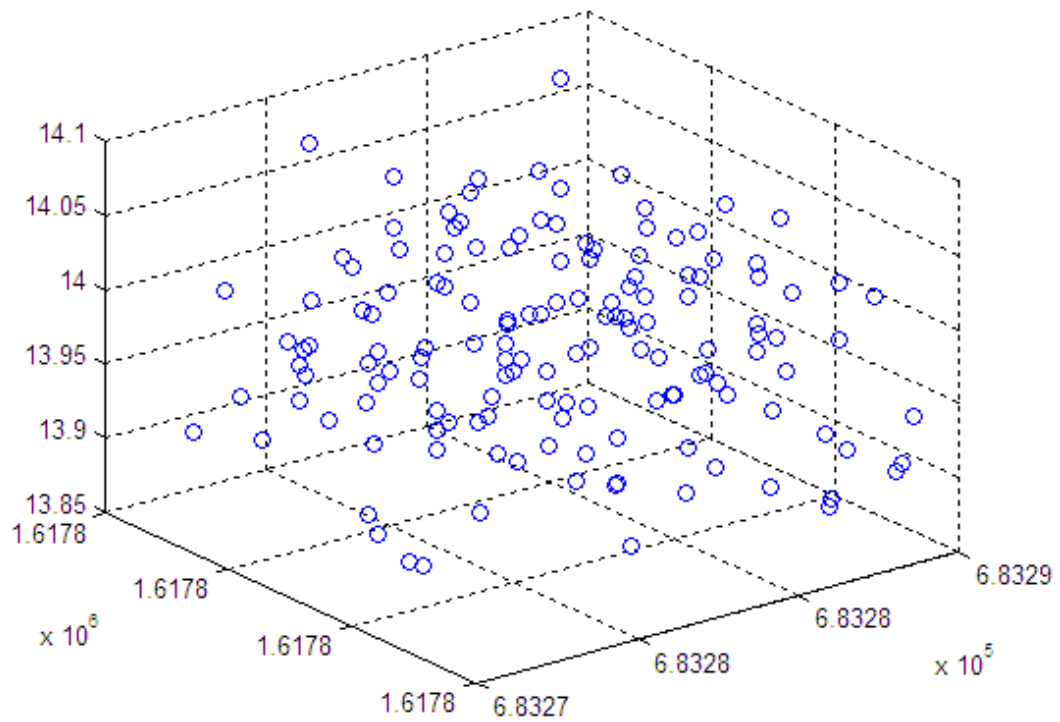
ภาพที่ 4.50 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 4



ภาพที่ 4.51 แสดงจุดที่ดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 4

จากภาพที่ 4.50 พบว่าในความสัมพันธ์ลำดับที่ 1 จุดหลายจุดเข้ามาอยู่ภายในบริเวณอาคารแทนที่อยู่บริเวณด้านนอกอาคารโดยมีเพียงจุดที่ 13, 21, 41, 69, 84, 94 และ 106 ที่อยู่นอกอาคาร ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 2 พบว่าจุดส่วนใหญ่อยู่นอกอาคารและเกาะกลุ่มกันมาก บริเวณด้านบนของภาพ สำหรับในกลุ่มของความสัมพันธ์ลำดับที่ 3 และ 4 จะพบว่าจุดทั้งหมดอยู่ภายในบริเวณอาคาร

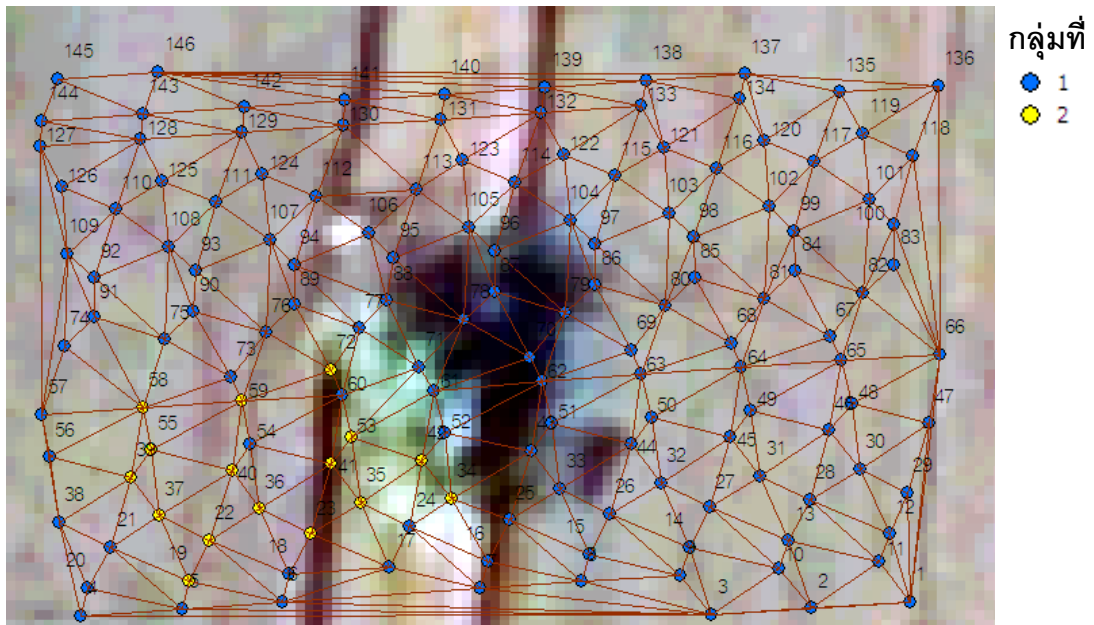
จากภาพที่ 4.51 พบว่าจุดส่วนใหญ่เกาะกลุ่มกันแต่มีอยู่ 1 จุดที่อยู่สูงโดดมาจากกลุ่ม



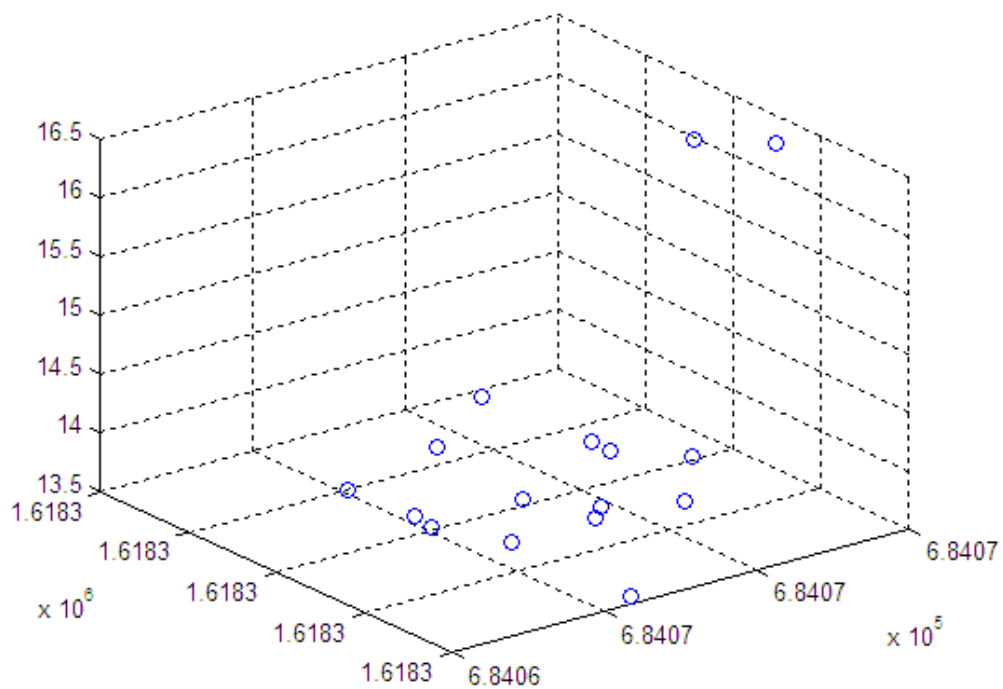
ภาพที่ 4.52 แสดงจุดที่ดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 5

ในกรณีศึกษาที่ 5 พบว่ากราฟที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงเลยทำให้ cluster graph มีเพียงกลุ่มเดียวผู้วิจัยจึงไม่ได้ใส่รูปมาโดยผลแสดงตามรูปที่ 4.17

จากภาพที่ 4.52 พบว่าจุดส่วนใหญ่จะเกาะกลุ่มกันและมีช่วงห่างของความสูงที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่นๆ



ภาพที่ 4.53 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 6

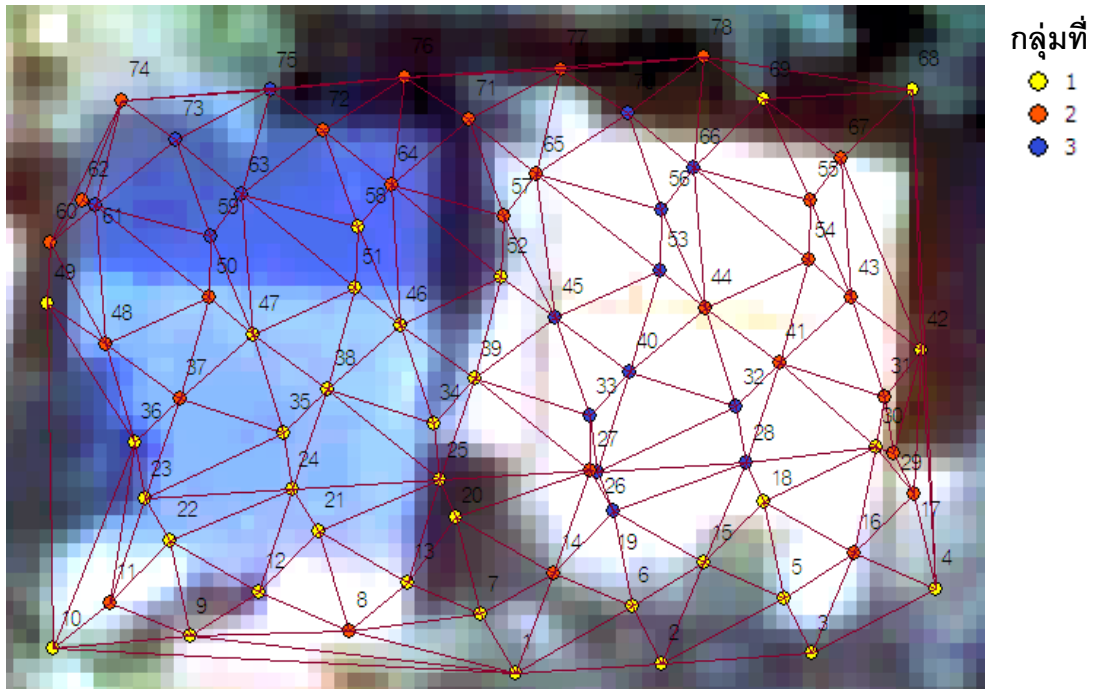


ภาพที่ 4.54 แสดงจุดที่ตั้งข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 6

จากภาพที่ 4.53 ในความสัมพันธ์ลำดับที่ 1 พบว่า จุดส่วนใหญ่อยู่นอกบริเวณต้นไม้และมีบางจุดที่อยู่ในบริเวณต้นไม้ คือ จุดที่ 52 , 61 , 77 และ 88 โดยในความสัมพันธ์ลำดับที่ 2

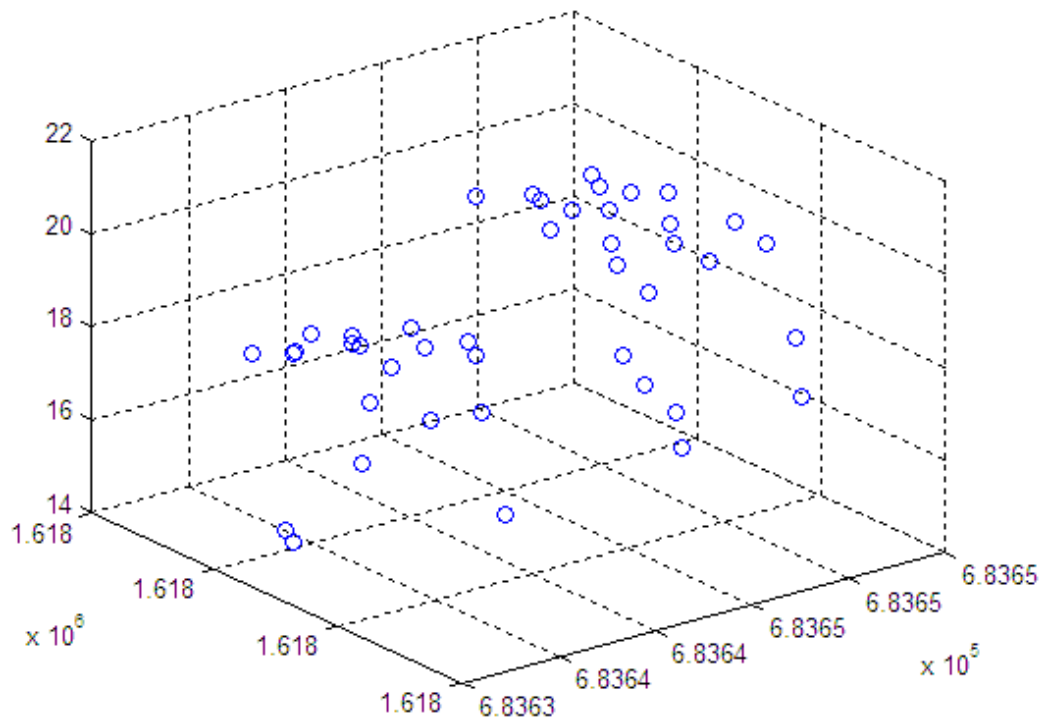
พบว่าจุดไม่ได้อยู่ภายในบริเวณต้นไม้ทั้งหมดซึ่งจุดที่อยู่นอกต้นไม้เกาะกลุ่มกันอยู่บริเวณด้านซ้ายล่างของภาพ

จากภาพที่ 4.54 พบว่าจุดส่วนใหญ่เกาะกลุ่มกันแต่มี 2 จุดที่มีความสูงต่างจากจุดอื่นๆ มาก



ภาพที่ 4.55 แสดงจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph ของกรณีศึกษาที่ 7

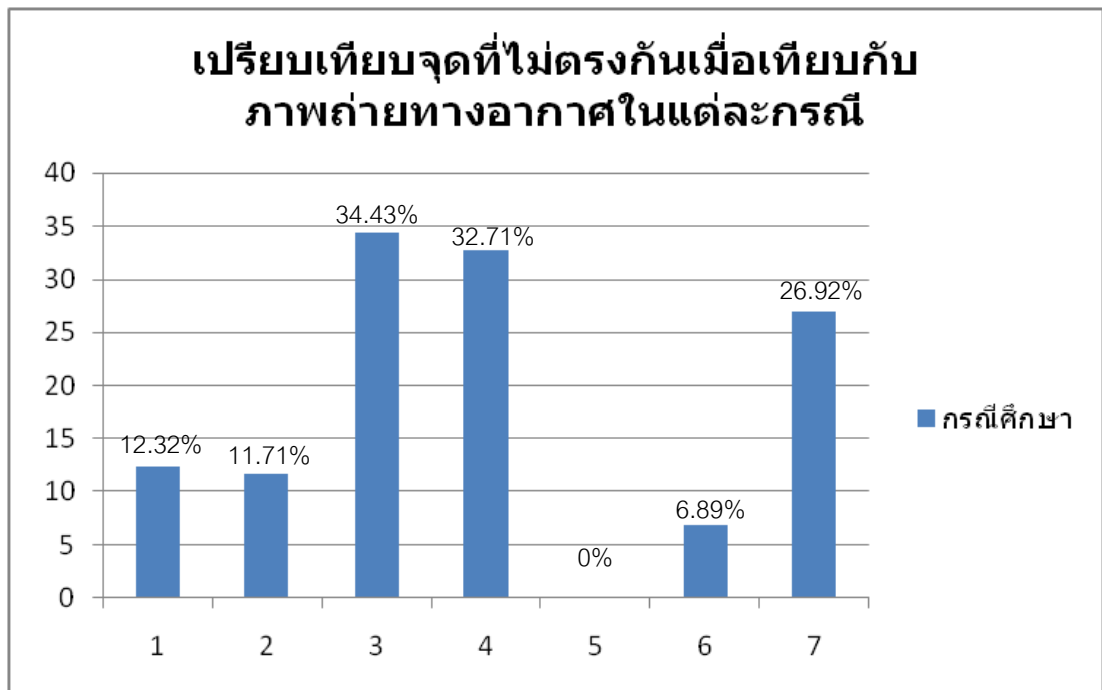
จากภาพที่ 4.55 พบว่าในกลุ่มของความสัมพันธ์ลำดับที่ 1 จุดส่วนใหญ่ไม่ได้กระจายอยู่นอกอาคารแต่มีถึงกว่าครึ่งที่อยู่ภายในอาคารซ้ายมือและบริเวณขอบของอาคารทางขวามือ ในขณะที่ความสัมพันธ์ลำดับที่ 2 พบว่าจุดอยู่ในขอบอาคารทางซ้ายมือและภายในอาคารขวามือ จะมีจุดอยู่มากกว่าและพบบางจุดที่อยู่นอกบริเวณอาคารคือ จุดที่ 29 และ 74 สำหรับความสัมพันธ์ลำดับที่ 3 พบว่า จุดส่วนใหญ่ก็ยังอยู่ในอาคารขวามือมากกว่าโดยมีจุดเดียวที่อยู่นอกอาคารคือ จุดที่ 75



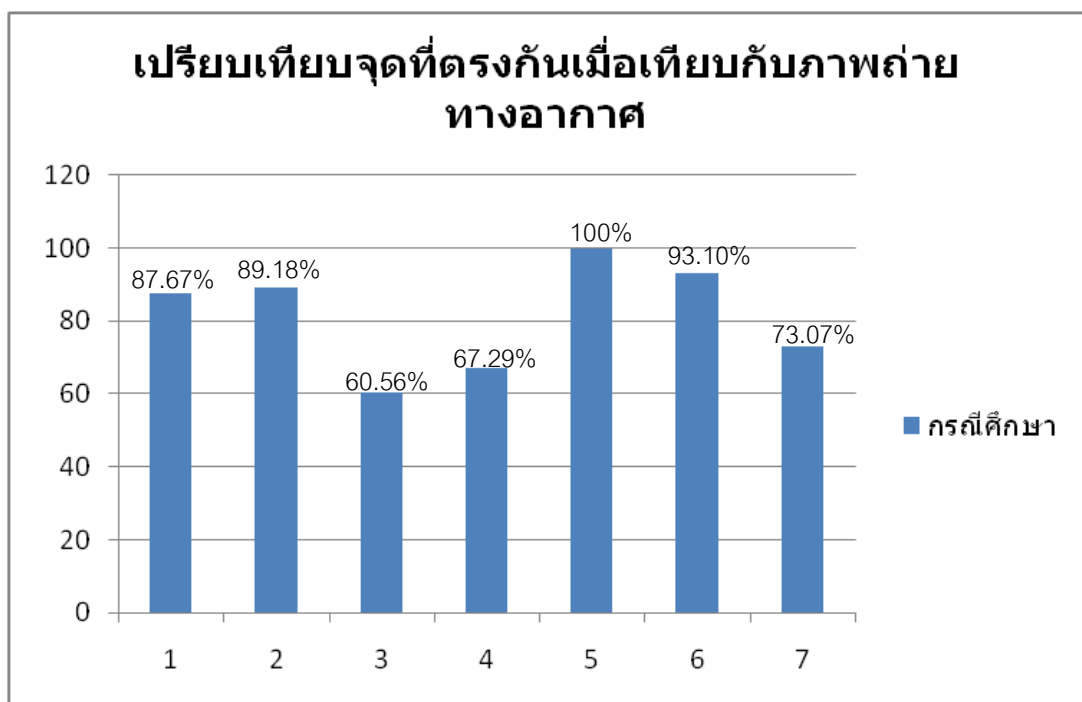
ภาพที่ 4.56 แสดงจุดที่ดึงข้อมูลลักษณะวัตถุออกมาในกรณีศึกษาที่ 7

จากภาพที่ 4.56 พบว่าจุดเกาะกลุ่มกันเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มหนึ่งมีความสูงมากกว่าและอีกกลุ่มหนึ่งมีความสูงน้อยกว่า

จากผลของกราฟที่ได้เราสังเกตเห็นว่ากราฟสามารถแยกข้อมูลลักษณะวัตถุที่อยู่เหนือผิวดินออกจากพื้นที่ราบได้แต่ยังไม่สามารถแยกข้อมูลลักษณะวัตถุที่อยู่เหนือผิวดินด้วยกันได้ดังกรณีศึกษาที่ 7 ที่ไม่สามารถแยกบ้านทั้งสองหลังออกจากกันได้โดยความตรงกันและไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศแสดงตามแผนภูมิแท่งในภาพที่ 4.57-4.58



ภาพที่ 4.57 แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ไม่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 4.58 แผนภูมิแท่งแสดงจุดที่ตรงกันเมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ

จากภาพที่ 4.57-4.58 พบว่ายกเว้นกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งเป็นแปลงนามีจุดที่ตรงกันทั้งหมด 100 % ส่วนกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นบริเวณต้นไม้พบว่ามีความไม่ตรงกันมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการทำวิจัยในหัวข้อ การศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์สรุปงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษา

จากงานวิจัยเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์ได้รูปแบบและวิธีการที่จะนำไปใช้งาน 2 แบบ คือ กราฟต้นไม้ (tree) และ cluster graph โดยกราฟแบบที่หนึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาการเชื่อมต่อและความชันในแต่ละจุด ส่วนกราฟแบบที่สองจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากกราฟแบบที่หนึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าจุดใดอยู่ภายในบริเวณวัตถุและจุดใดอยู่นอกวัตถุเป็นกราฟที่ใช้สรุปกราฟแบบแรก โดยผู้วิจัยเลือกกรณีศึกษาที่นำใช้งานทั้งสิ้น 7 กรณี ในแต่ละกรณีจะประกอบไปด้วย กราฟต้นไม้ และกราฟแบบกลุ่ม และสุดท้ายคือการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกราฟมาเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อให้เห็นจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกัน ซึ่งจากทั้ง 7 กรณีศึกษาและรูปแบบของกราฟในแต่ละกรณี นั้นสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 รูปแบบของกราฟต้นไม้ในแต่ละกรณีศึกษา

จากภาพที่ 4.1 , 4.10 , 4.18 , 4.25 , 4.32 , 4.35 , 4.38 รูปแบบของกราฟต้นไม้ในแต่ละกรณีศึกษา กราฟที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันเลยคือกรณีศึกษาที่ 5 ส่วนกราฟที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันน้อยคือกราฟของกรณีศึกษาที่ 4 ซึ่งเป็นอาคารที่มีหลังแบนราบโดยกราฟของต้นไม้ในกรณีศึกษาที่ 3 เป็นกราฟที่จะมีเส้นทางเป็นแนวลึกลงไปซึ่งยาวที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกราฟ ส่วนกราฟที่มีความซับซ้อนที่สุดคือกราฟของกรณีศึกษาที่ 2 บ้านอยู่อาศัยที่มีการต่อเติมหลังคา และสำหรับกราฟในกรณีศึกษาที่ 7 หากดูจากกราฟต้นไม้จะไม่พบความแตกต่างเท่าไรเมื่อเทียบกับกราฟของบ้านอยู่อาศัยในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ทำให้เราสรุปได้ว่าหากกราฟต้นไม้แผ่กว้างและมีแนวลึกลงไปจะจัดเป็นกราฟของอาคารต่างๆ หากกราฟมีแนวลึกลงไปเป็นเส้นทางยาวคือกราฟของต้นไม้หรือสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และสุดท้ายกราฟของที่ราบจะเป็นกราฟต้นไม้ที่แผ่กว้างและไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงเลย

5.1.2 รูปแบบของ Cluster Graph ในแต่ละกรณีศึกษา

จากภาพที่ 4.2 , 4.11 , 4.19 , 4.26 , 4.33 , 4.36 และ 4.39 พบว่าลำดับชั้นที่แบ่งเป็นกลุ่มของกราฟจะแตกต่างกันออกไปตามลำดับชั้นของความสัมพันธ์ซึ่งจะอ้างอิงมาจากกราฟ

ต้นไม้โดยกรณีที่มีกลุ่มของความสัมพันธ์เพียงกลุ่มเดียวคือ กรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งเป็นที่ราบทำให้ไม่มีกลุ่มอื่น โดยทุกกราฟแบ่งกลุ่มลำดับขั้นที่ 1 ของความสัมพันธ์คือส่วนที่เป็นพื้นราบโดย cluster graph ที่มีจำนวนความสัมพันธ์มากที่สุดคือ กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ซึ่งมีถึง 6 และ 5 กลุ่มโดยจากกราฟต้นไม้และ cluster graph แสดงผลสรุปแบ่งตามกรณีศึกษาได้ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลสรุปของกราฟต้นไม้และ cluster graph ในแต่ละกรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่	รูปแบบของกราฟต้นไม้	Custer graph
1	กราฟขยายออกด้านข้างและมีกิ่งที่ลึกลงไป	6 กลุ่ม
2	กราฟขยายออกด้านข้างและมีกิ่งที่ลึกลงไป แต่รูปแบบของกราฟมีความซับซ้อนกว่า กรณีศึกษาที่ 1	5 กลุ่ม
3	กราฟมีกิ่งที่ลึกที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรณีศึกษาและมีการเปลี่ยนแปลงความชันมาก	4 กลุ่ม
4	กราฟขยายออกด้านข้างและมีการเปลี่ยนแปลงความชัน	4 กลุ่ม
5	กราฟขยายออกด้านข้างและไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงความชัน	1 กลุ่ม
6	กราฟขยายออกด้านข้างและมีการเปลี่ยนแปลงความชันเพียง 3 ครั้ง	2 กลุ่ม
7	กราฟขยายออกด้านข้างและมีการเปลี่ยนแปลงความชันคล้ายกับกรณีที่ 1	3 กลุ่ม

5.1.3 การเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ

จากภาพที่ 4.9, 4.17, 4.24, 4.31 , 4.34, 4.37 และ 4.43 พบว่านอกจากกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งเป็นที่ราบ โดยทุกกรณีศึกษาหลังจากวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศจะพบว่ามีจุดที่ไม่ตรงกันอยู่ทุกกรณีศึกษา

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าร้อยละของจุดที่ตรงกันและไม่ตรงกันกับภาพถ่ายทางอากาศเมื่อวิเคราะห์ด้วยกราฟ

กรณีศึกษาที่	ร้อยละของจุดที่ไม่ตรงกัน	ร้อยละของจุดที่ตรงกัน
1	12.32	87.67
2	11.71	89.18
3	34.43	60.56
4	32.71	67.29
5	0	100
6	6.89	93.10
7	26.92	73.07

กรณีศึกษาที่พบว่าไม่ตรงกันมากที่สุดคือ กรณีศึกษาที่ 3 ที่เป็นต้นไม้ โดยเมื่อดูจากภาพถ่ายทางอากาศพบว่าจุดที่ไม่ตรงกันกระจายอยู่โดยรอบซึ่งสาเหตุที่ทำให้มีความไม่ตรงกันมากเนื่องจากข้อมูลโลดาร์ที่ได้จากต้นไม้มักจะมีข้อมูลที่เป็นเรื่อนยอดและพื้นราบซ้อนกันอยู่ (Jensen J.R., 2007)

5.1.4 วิเคราะห์ผลการศึกษาเพิ่มเติม

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.44 , 4.46 , 4.48 , 4.50 , 4.52 และ 4.55 พบว่าในความสัมพันธ์ลำดับต่างๆในทุกกรณีศึกษา ส่วนใหญ่จะไล่ระดับความสัมพันธ์ตามความใกล้เคียงจากจุดเริ่มต้นไม่ได้สัมพันธ์กับความสูงของจุดเพียงอย่างเดียวรวมทั้งจุดที่วิเคราะห์ด้วยกราฟแล้วไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศมักจะปรากฏอยู่บริเวณขอบของวัตถุทั้งที่อยู่ในวัตถุและนอกวัตถุซึ่งสาเหตุมาจากการกำหนดความชันที่ใช้ในอัลกอริทึมและระยะทางระหว่างจุดซึ่งไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณร่วมด้วยทำให้พบปัญหาดังกล่าว



ภาพที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลโลดาร์

จากภาพที่ 5.1 พบว่าจุดที่ 28 และ 18 ค่อนข้างที่จะอยู่ชิดกันมากกว่าจุดที่ 5 และ 15 ซึ่งจากจุดที่ 18 ไปยัง 28 จะมีความชันที่เปลี่ยนไปมากกว่าจุดที่ 5 และ 15

ในกรณีศึกษาที่ 4 พบว่ามีจุดที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วย cluster graph เมื่อนำมาเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่ามีความตรงกันที่ค่อนข้างน้อยโดยเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.50 ในกลุ่มของความสัมพันธ์ลำดับที่สองเมื่อซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศพบว่าในบริเวณนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นต้นไม้ใหญ่ซึ่งมีความสูงกว่าบริเวณอาคารทำให้ส่งผลต่อการตีความทำให้เกิดความผิดพลาด

พิจารณาจากภาพที่ 4.45 , 4.47 , 4.49 , 4.51 , 4.53 , 4.54 และ 4.56 พบว่าวัตถุที่เป็นอาคารจุดส่วนใหญ่มักจะเกาะกลุ่มกันเป็นรูปแบบที่ค่อนข้างชัดเจน ส่วนในกลุ่มที่เป็นต้นไม้จุดส่วนใหญ่ก็จะเกาะกลุ่มกันแต่ต่างกันตรงที่จะมีหลายส่วนที่มีความสูงแตกต่างกันมากกว่าวัตถุที่เป็นอาคารโดยถ้าพิจารณาจากภาพที่ 4.56 ซึ่งแสดงข้อมูลจากกรณีศึกษาที่ 7 ซึ่งเป็นบ้านที่อยู่ติดกันสองหลังพบว่ามีการกลุ่มสองกลุ่มที่แบ่งจากกันค่อนข้างที่จะสามารถตีความได้ว่าเป็นหลังคาคนละหลังกันโดยจากการวิเคราะห์ด้วยกราฟเรายังไม่สามารถแยกหลังคาของบ้านทั้งสองหลังออกจากกันได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- ข้อมูลไลดาร์ไม่กระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ บางจุดจึงชิดและห่างกันมากทำให้การวิเคราะห์ในบางครั้งเกิดความผิดพลาดขึ้นได้
- ภาพถ่ายทางอากาศเมื่อนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบนั้นต้องขยายเข้าไปใกล้มากทำให้ภาพแตกประกอบกับบางส่วนก็เป็นเงาและกำหนดบริเวณที่เป็นขอบได้ยาก
- เมื่อนำจุดมาซ้อนทับกับภาพถ่ายทางอากาศบริเวณต่างๆ ในภาพสว่างและมีมิติไม่เท่ากันทำให้บางจุดมองเห็นได้ไม่ชัดทำให้เสียเวลาในการแยกแยะ

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถแยกแยะอาคารหรือวัตถุที่อยู่ติดกันได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาเทคนิคในด้านอื่นประกอบด้วย เช่น คุณสมบัตินิเวศวิทยาและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์
- ควรศึกษาเทคนิคในการที่จะกรองเฉพาะข้อมูลที่สนใจในการนำมาใช้เบื้องต้นก่อนเพื่อไม่ให้มีข้อมูลหรือจุดที่จะทำให้การตีความคลาดเคลื่อน

- ศึกษารูปแบบของกราฟในกรณีอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถสรุปรูปแบบของวัตถุแต่ละชนิดอาคารแต่ละแบบได้ดีขึ้นเพื่อพัฒนาเป็นรูปแบบมาตรฐานนำมาใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุ

- นำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์เพื่อความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุนันท์ ตันทพูน. การระบุตัวบุคคลด้วยการใช้ลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการสามเหลี่ยม Delaunay.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,
2550.

ภาษาอังกฤษ

Baltsavias E. Introduction to Airborne LiDAR and Physical Principles of LiDAR

Technology. Institute of Geodesy and Photogrammetry. (January 2008) : 18-30.

Bondy J.A. and Murty U.S.R. Graph Theory. United State of America : Springer, 2008.

De Almeida J.-P., Morley J.G. and Downman I.J. Graph theory in higher order
topological analysis of urban scences. computer and environment system
science direct Elsevier. 31 (April 2007) : 426-440.

Fernandez J.C, Singhanian A., Caceres J., Slatton K.C., Starek M. and Kumor R.. An
Overview of Point Cloud Processing Software. Geosensing Engineering and
Mapping Report University of Florida. (December, 2007) : 5-27.

Floriani L.D.. Feature Extraction From Boundary Models of Three-Dimensional Objects.
IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 11
(August 1989) : 785-798.

Jensen J.R.. Remote Sensing of the Environment an earth resource perspective. 2nd
edition. United State of America : Pearson Education Inc., 2007.

Kaufman M. and Wagner D. Drawing Graph Method and Model. Germany : Springer-
Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

Laurini, R. Thompson D. Fundamental of Spatial Information, 5th edition. .
London United Kingdom : Academic Press, 1994.

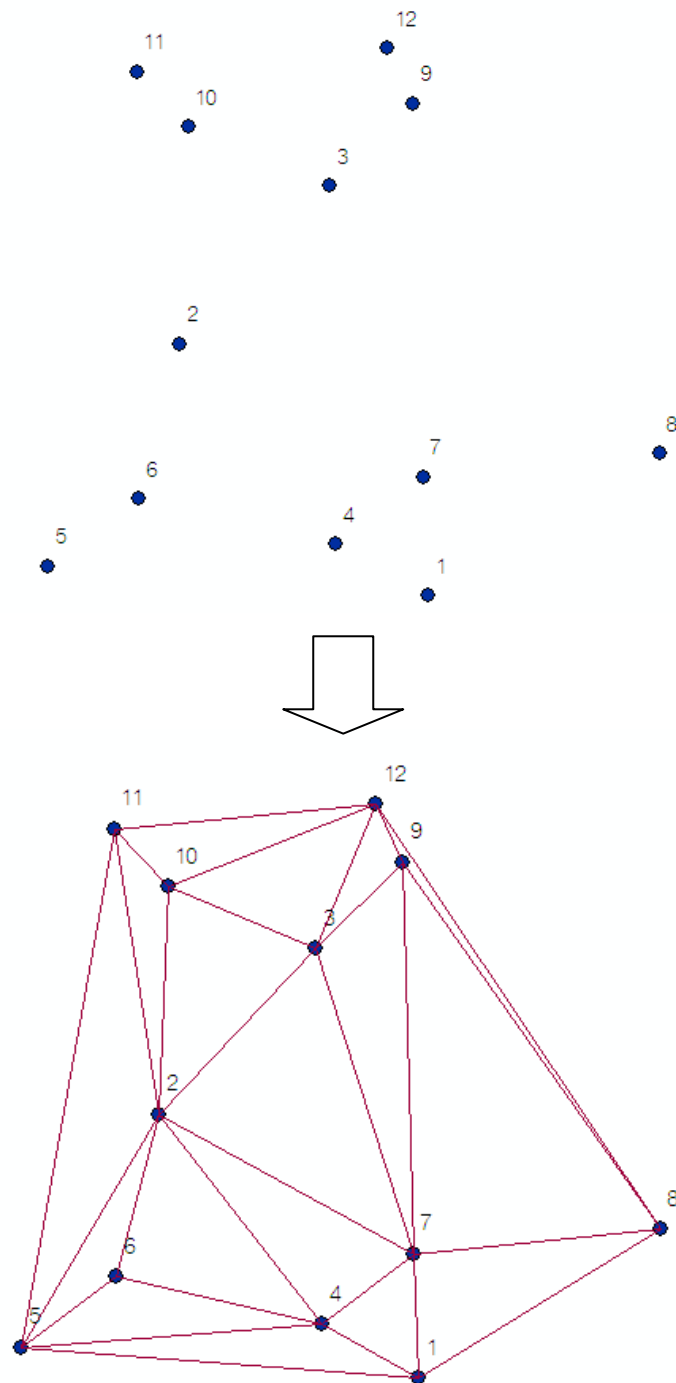
Lillesand M.D., Kiefer R.W. and Chipman J.W. Remote Sensing and Image
Interpretation. 5th edition. Newyork United State of America : John Wiley and
Sons, 2004.

- Michael F. W. GIS a computing Perspective, John street London United Kingdom : Taylor and Francis Ltd, 1995.
- Rebecca T., Chris G. and Dave K. Using Delaunay Triangulation/ Voronoi Diagram to extract Building Information from Raw LiDAR Data. International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (IEEE). 4 (July 2007) : 222-229.
- Samadzadegan F. and Saeedi S. Clustering of LiDAR Data Using Particle Swarm Optimization Algorithm in Urban Area. International Archives of Photogrammetry and Remote sensing. 38 (September, 2009) : 3-8.
- Schmid K., Waters K., Dingerson L., Hadly B., Mataosky R., Carter J., & Dare J. LiDAR, An Introduction to LiDAR Technology, Data, and Applications. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Service Center. (December 2008) : 740-1254.
- Shan J. and Toth C. K.. Topographic Laser Ranging and Scanning : Principle and Processing. 1st edition. Boca Raton United State of America : Taylor and Francis, 2009.
- Theobald D.M. Topology Revisited : Representing spatial relations. International Journal Of Geographical Information Science. 15: (April 2001) : 689-705.

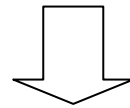
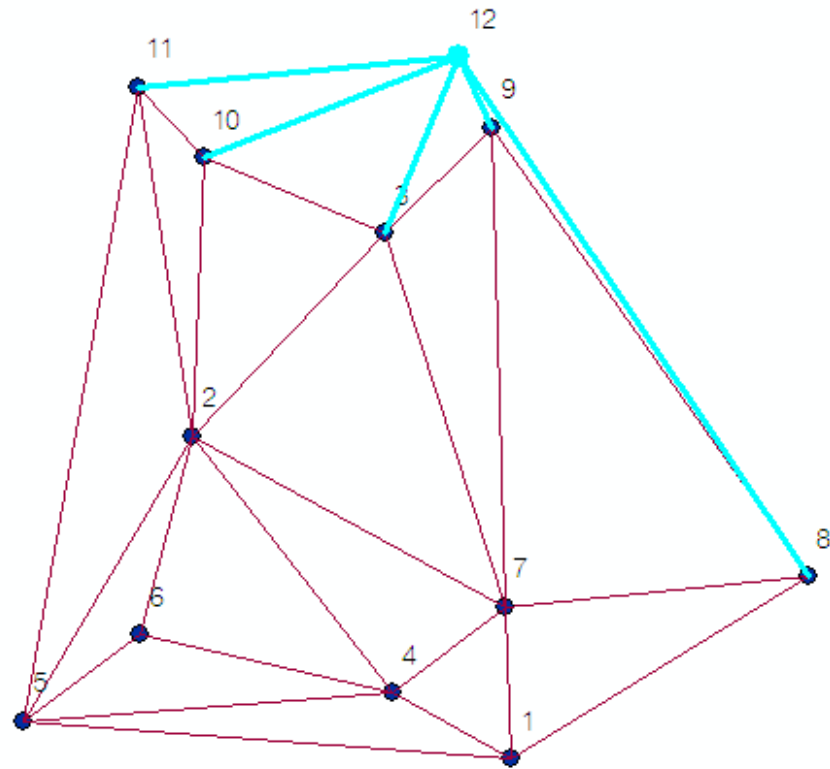
ภาคผนวก

ขั้นตอนการสร้างกราฟโดยสังเขป

-แสดงข้อมูล point cloud และสร้างตามเหลี่ยม Delaunay



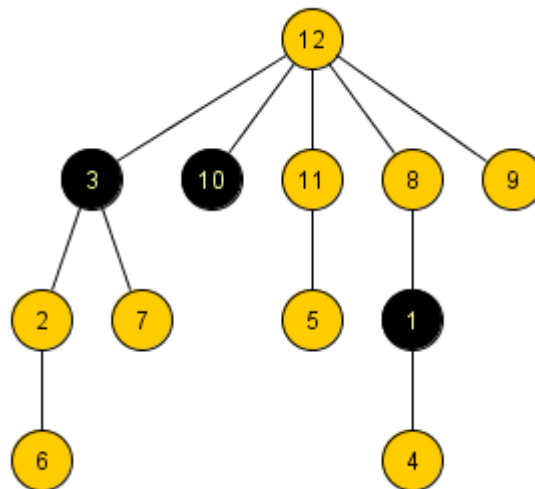
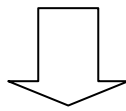
-เริ่มต้นจากจุดที่ต่ำที่สุดในภาพแล้วหาจุดข้างเคียงรวมทั้งหาความชันระหว่างจุด



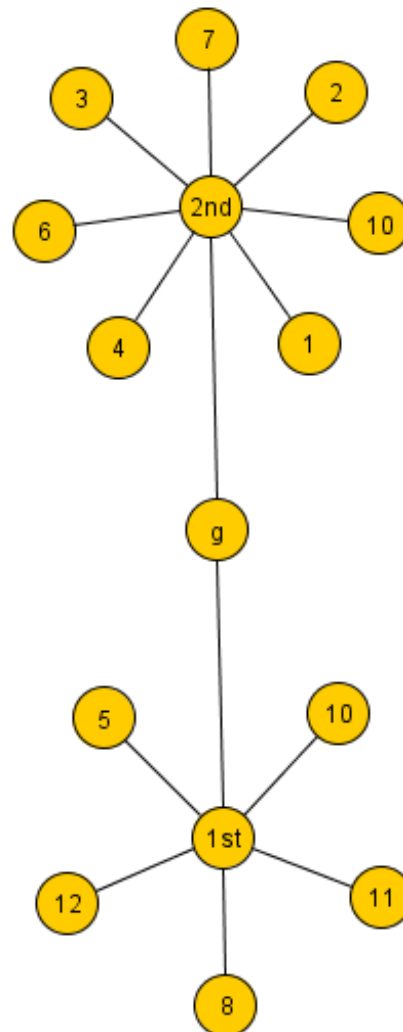
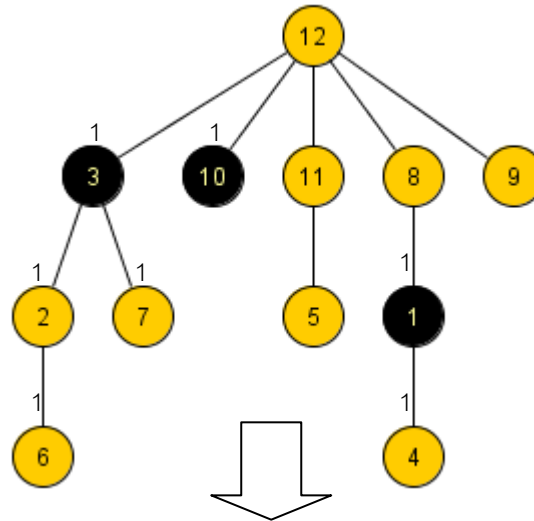
I	J	K	L	M
point link	distance x,y	elevation z	ratio	slope
12->3	0.75769387	1.8	2.37563	67.17178
12->10	1.086324077	1.62	1.491268	56.15536
12->11	1.275656694	1.23	0.964209	43.9561
12->8	2.479516082	0.38	0.153256	8.713112
12->9	0.308706981	0.02	0.064786	3.706804
3->2	1.103449138	0.03	0.027187	1.557344
3->7	1.552836115	-0.02	-0.01288	-0.73791
11->5	2.550019608	1.27	0.498035	26.47493
8->1	1.373790377	1.83	1.332081	53.10425
1->4	0.53712196	-0.19	-0.35374	-19.4806
2->6	0.817435013	0.45	0.550502	28.83289

-สร้างกราฟตามเงื่อนไขของ graph search algorithm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0



-สร้าง cluster graph จากกราฟต้นไม้



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นายภูวิชิต แฉล้มเขตต์

วันเดือนปีเกิด: 11 มิถุนายน พ.ศ. 2528

คุณวุฒิทางการศึกษา:

พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยบูรพา

พ.ศ. 2555 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทาง

วิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ: บทความตีพิมพ์

1. **ภูวิชิต แฉล้มเขตต์และ ธงทิศ ฉายากุล** 2555. การศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการดึงข้อมูลลักษณะวัตถุจากข้อมูลไลดาร์ การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่17.

โรงแรมเซนทาราไฮเทลแอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี 9-11 พฤษภาคม 2555

2. **Tuvachit Chalamkate and Thongthit Chayakula.** 2012. A STUDY OF GRAPH THEORY APPROACH FOR FEATURE EXTRACTION FROM LIDAR DATA. 33rd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2012). November 26-30, 2012 at The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.