

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตสำหรับการวัดและบันทึกความสูงแนวตั้ง
ของอุปสรรคบนพื้นที่ก่อสร้าง



นางสาวกัญญ์ณัฐ เกษโกมล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DEVELOPMENT OF SMARTPHONE AND TABLET BASED APPLICATION FOR MEASURING
AND RECORDING VERTICAL HEIGHT OF OBSTRUCTION IN CONSTRUCTION SITE

Miss Kanyanut Keskomon



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต
สำหรับการวัดและบันทึกความสูงแนวตั้งของอุปสรรคบน
พื้นที่ก่อสร้าง

โดย

นางสาวกัญญณัฐ เกษโกมล

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์)

กัญญณ์ภูฏ์ เกษโกมล : การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตสำหรับการวัดและบันทึกความสูงแนวตั้งของอุปสรรคบนพื้นที่ก่อสร้าง (A DEVELOPMENT OF SMARTPHONE AND TABLET BASED APPLICATION FOR MEASURING AND RECORDING VERTICAL HEIGHT OF OBSTRUCTION IN CONSTRUCTION SITE) อ.ที่
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ธนิต ธงทอง, 211 หน้า.

การสำรวจพื้นที่ในขั้นต้นเป็นกระบวนการทำงานที่สำคัญในขั้นแรกของการก่อสร้าง เพื่อการประมาณ การออกแบบและวางแผนการทำงานให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ ปัญหาที่มักพบในการสำรวจขั้นต้นคือ ข้อจำกัดของข้อมูลจากเจ้าของงาน ขาดเครื่องมือที่สนับสนุนการทำงาน รวมไปถึงไม่มีรูปแบบรายงานที่ช่วยสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างในขั้นต้น โดยในขณะนี้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตเป็นเครื่องมือที่มีความนิยมมากขึ้น และมีสมรรถนะที่ช่วยสนับสนุนการทำงานต่างๆ ได้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น โดยนำเสนอโปรแกรมประยุกต์ ConOHM (Construction Obstruction Height Measurement) เพื่อวัดความสูงของสิ่งที่จะอาจจะเป็นอุปสรรคของการก่อสร้าง สามารถระบุตำแหน่งและจดบันทึก รวมถึงความสามารถสร้างรายงานบนพื้นที่ก่อสร้าง สูตรที่ใช้ในการหาความสูงเป็นสูตรที่ได้รับการปรับปรุงจากการใช้ตรีโกณมิติที่ได้รับค่าพิกัดจุดจากดาวเทียมสำหรับการคำนวณหาระยะทางระหว่างผู้ใช้และสิ่งที่ต้องการวัด การทดสอบภายหลังการพัฒนาแสดงให้เห็นว่าการหาระยะทางในแนวราบด้วยค่าจากดาวเทียมนั้นสามารถคำนวณได้แม่นยำ ระยะแนะนำที่สามารถใช้งาน ConOHM ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือระหว่าง 16 ถึง 84 องศา ค่าความคลาดเคลื่อนของระบบมีค่าร้อยละ 3.48 ± 2 งานวิจัยนี้ได้ประเมินผลความพึงพอใจของวิศวกรผู้ใช้งานด้วยแบบสอบถามมาตรวัดของลิเกิร์ต 5 ระดับ ได้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการใช้โปรแกรมประยุกต์อยู่ที่ 4.38 คะแนน และเห็นด้วยว่าโปรแกรมประยุกต์สามารถสนับสนุนการทำงานได้เป็นคะแนนเฉลี่ย 4.25 คะแนน อย่างไรก็ตาม ConOHM ยังไม่สนับสนุนการวัดที่ผู้ใช้ไม่ได้อยู่ระนาบเดียวกับสิ่งที่ต้องการวัดอย่างเต็มที่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องประสิทธิภาพของสมาร์ทโฟนที่ยังไม่สามารถคำนวณระดับความสูงของสมาร์ทโฟนด้วยความดันอากาศได้อย่างแม่นยำ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5770115021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: SITE INVESTIGATION, OBSTRUCTION, HEIGHT, LOCATION, APPLICATION, SMARTPHONE, TABLET

KANYANUT KESKOMON: A DEVELOPMENT OF SMARTPHONE AND TABLET BASED APPLICATION FOR MEASURING AND RECORDING VERTICAL HEIGHT OF OBSTRUCTION IN CONSTRUCTION SITE. ADVISOR: ASSOC. PROF. TANIT TONGTHONG, 211 pp.

Site investigation is a crucial work in the first phase of the construction. It supports the bidding, design, and plan of the construction to suit the site conditions. Problems of site investigating are the limitation of owner's data, lack of suitable tools and platform of survey report assisting primary site investigation. Meanwhile, the popularity of smartphones and tablets are increasing which can support works of various professions. The objective of this research is to develop a new application to support primary construction site investigation named "ConOHM" (Construction Obstruction Height Measurement). ConOHM can locate the position of construction's obstructions and measure their heights. It can also support the report of the obstructions on site. The formula behind the height measure was adjusted from trigonometry, by receiving geographical data from satellites to calculate the distance from the user to obstructions. The result showed that the working aiming angle for height measure should be between 16 to 84 degrees. The error of the application is 3.48 ± 2 percent. The evaluation of the application was implemented with engineers using 5 levels of Likert scale questionnaire. The means of the application's satisfaction was 4.38 points. Furthermore, engineers agreed that ConOHM can support primary construction site investigation by the mean of 4.25 points. However, ConOHM cannot fully support the measurement where the position of the user is not on the same plane with desired objects. The cause of this issue is the smartphone's limitation that could not support accurate height measure by pressure sensor.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยเหลือและแนะนำตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา หลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้ และ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าของแต่ละท่านมาช่วยตรวจสอบและ ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ (ประธาน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว (กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์) และ ดร.เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย)

นอกจากนี้ขอขอบคุณบริษัท ฮิลติ (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือของ บริษัทในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงนางสาวณัฐนิษฐ์ เกษโกมลที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียน โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจ เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญรูป | ฅ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 5 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 6 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 6 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 7 |
| 2.1 บทนำ..... | 7 |
| 2.2 การสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวคิดด้วยวิธีดั้งเดิม | 7 |
| 2.3 เครื่องมือที่อาศัยเทคโนโลยีในการวัดความสูง..... | 8 |
| 2.3.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์..... | 9 |
| 2.3.2 สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต | 9 |
| 2.4 สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตกับการทำงานในปัจจุบัน | 10 |
| 2.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตช่วยงานก่อสร้างทางด้านการสำรวจ | 11 |
| 2.5.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสำรวจ..... | 11 |
| 2.5.2 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน..... | 16 |
| 2.5.3 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ | 20 |

| | |
|---|----|
| 2.5.4 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิมและการสำรวจด้วยสมาร์ทโฟน..... | 23 |
| 2.5.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ConOHM | 25 |
| 2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ..... | 29 |
| 2.7 มาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Scale)..... | 30 |
| 2.8 ทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) | 31 |
| 2.9 สรุป | 31 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 33 |
| 3.1 บทนำ..... | 33 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย | 33 |
| 3.3 สรุป | 39 |
| บทที่ 4 การสำรวจและเก็บข้อมูลขั้นต้น..... | 41 |
| 4.1 บทนำ..... | 41 |
| 4.2 การทำงานสำรวจในขั้นต้นของการทำงานก่อสร้าง | 41 |
| 4.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นจากสถานที่จริง | 46 |
| 4.4 ปัญหาที่พบในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นในปัจจุบัน | 54 |
| 4.4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจมีจำกัด..... | 54 |
| 4.4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ไม่เหมาะสม..... | 54 |
| 4.4.3 ยังไม่มีการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ | 55 |
| 4.5 แนวทางการแก้ปัญหา..... | 57 |
| 4.6 สรุป | 58 |
| บทที่ 5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต..... | 59 |
| 5.1 บทนำ..... | 59 |
| 5.2 การสำรวจความสูงโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ | 59 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.1 การสำรวจความสูงด้วยสายวัด | 61 |
| 5.2.2 การสำรวจความสูงด้วยสายวัดด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ | 63 |
| 5.2.3 การสำรวจความสูงด้วยสายวัดด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่มีในปัจจุบัน ... | 65 |
| 5.2.4 การเปรียบเทียบผลการสำรวจความสูงของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ | 69 |
| 5.3 ระบบและหลักการคิดที่ใช้ในโปรแกรมประยุกต์ | 72 |
| 5.3.1 ระบบและตัวรับสัญญาณสำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ | 72 |
| 5.3.2 สูตรที่ใช้ภายในระบบ | 73 |
| 5.3.3 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง | 79 |
| 5.3.4 ตัวอย่างการคำนวณ | 83 |
| 5.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต | 85 |
| 5.4.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทฮาร์ดแวร์ (Hardware)..... | 85 |
| 5.4.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทซอฟต์แวร์ (Software)..... | 88 |
| 5.4.3 ภาษาคอมพิวเตอร์..... | 91 |
| 5.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ | 91 |
| 5.5.1 การวางแผนระบบ..... | 91 |
| 5.5.2 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์..... | 93 |
| 5.6 สรุป | 103 |
| บทที่ 6 การทดสอบและการใช้งานจริง | 104 |
| 6.1 บทนำ..... | 104 |
| 6.2 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทำการสำรวจ..... | 104 |
| 6.2.2.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม | 107 |
| 6.2.2.2 อาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4)..... | 108 |
| 6.2.2.3 อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาเทคโนโลยี..... | 108 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.2.4 อาคารอนุศาสน์ยंत्रกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5)..... | 109 |
| 6.2.2.5 อาคารจักรพงษ์ (หอประวัติ)..... | 109 |
| 6.3 การทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูง..... | 110 |
| 6.4 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำ..... | 115 |
| 6.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์..... | 123 |
| 6.8 การทดสอบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนโดยกลุ่มตัวอย่าง..... | 139 |
| บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 148 |
| 7.1 สรุปผลงานวิจัย..... | 148 |
| 7.2 ผลการทำงานวิจัย..... | 152 |
| 7.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ..... | 152 |
| 7.4 แนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต..... | 153 |
| รายการอ้างอิง..... | 155 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 211 |

| | |
|--|----|
| ตาราง 2.1 ประเภทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาที่ใช้ ณ สถานที่ก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015)) | 17 |
| ตาราง 2.2 ประเภทการใช้งานสมาร์ทโฟนช่วยในงานก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015))..... | 17 |
| ตาราง 2.3 ประเภทการใช้งานสมาร์ทโฟนช่วยในงานก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015))..... | 19 |
| ตาราง 2.4 แสดงปริมาณมลภาวะทางเสียงของพื้นที่แต่ละประเภท (ดัดแปลงจาก Sharma et al. (2014))..... | 20 |
| ตาราง 2.5 แสดงการเปรียบเทียบการสำรวจระหว่างวิธีดั้งเดิมกับการใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนก่อนการสำรวจ (ดัดแปลงจาก Ogra and Arora (2012))..... | 26 |
| ตาราง 3.1 แสดงตัวอย่างตารางผลการวัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุมโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ | 36 |
| ตาราง 3.2 แสดงผลตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุม CU 09 กับค่าพิกัดที่ได้จากการวัดโดยโปรแกรมประยุกต์ | 37 |
| ตาราง 3.3 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกการวัดความสูงของอาคารด้วยโปรแกรมประยุกต์ ConOHM..... | 38 |
| ตาราง 4.1 แสดงรายการรายละเอียดของผู้มีประสบการณ์ที่ให้สัมภาษณ์ | 42 |
| ตาราง 4.2 แสดงตัวอย่างปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับตำแหน่งที่ควรวางสำนักงานสนามในสถานที่ก่อสร้าง (Saovana and Tongthong, 2015)..... | 43 |
| ตาราง 4.3 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องสำรวจในขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น | 44 |
| ตาราง 4.4 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น | 44 |
| ตาราง 4.5 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น | 45 |
| ตาราง 4.6 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น..... | 45 |

| | |
|--|-----|
| ตาราง 4.7 แสดงความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน | 56 |
| ตาราง 5.1 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด | 61 |
| ตาราง 5.2 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด | 62 |
| ตาราง 5.3 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ | 63 |
| ตาราง 5.4 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัด ระยะด้วยแสงเลเซอร์ | 65 |
| ตาราง 5.5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height | 67 |
| ตาราง 5.6 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรม ประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height | 69 |
| ตาราง 5.7 แสดงการเปรียบเทียบผลการวัดความสูงของโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรม โยธาด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ | 70 |
| ตาราง 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา ด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ | 71 |
| ตาราง 5.9 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง | 81 |
| ตาราง 5.10 แสดงข้อมูลของคอมพิวเตอร์ MacBook Air 2014 | 86 |
| ตาราง 5.11 แสดงข้อมูลของสมาร์ทโฟน iPhone 5S | 87 |
| ตาราง 6.1 แสดงรหัสอาคารประกอบแผนผังคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 106 |
| ตาราง 6.2 แสดงการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีจากระดับพื้นดินของ ผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งกีดขวาง และมุมตั้งของจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย | 112 |
| ตาราง 6.3 แสดงกรณีที่ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับ พื้นดินของสิ่งกีดขวาง และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งกีดขวางเป็นมุมเงย | 114 |

| | |
|--|-----|
| ตาราง 6.4 แสดงผลการวัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุม CU 09 ด้วยโปรแกรมประยุกต์ และร้อยละความคลาดเคลื่อน..... | 115 |
| ตาราง 6.5 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมประยุกต์.... | 117 |
| ตาราง 6.6 แสดงสรุปผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วย ConOHM..... | 118 |
| ตาราง 6.7 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรมด้วย ConOHM..... | 119 |
| ตาราง 6.8 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีด้วย ConOHM..... | 120 |
| ตาราง 6.9 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคาร อนุสาสน์ ยันตรกรรมด้วย ConOHM..... | 121 |
| ตาราง 6.10 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารจักรพงษ์ ด้วย ConOHM..... | 122 |
| ตาราง 6.11 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงในแนวตั้งของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมประยุกต์กรณีที่มีมุมตั้งเป็นมุมก้ม..... | 124 |
| ตาราง 6.12 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงในแนวตั้งของอาคารจักรพงษ์ด้วยโปรแกรมประยุกต์กรณีที่มีมุมตั้งเป็นมุมก้ม.... | 125 |
| ตาราง 6.13 แสดงการสำรวจความสูงอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาที่ตำแหน่งต่างๆ กัน 10 ตำแหน่ง..... | 129 |
| ตาราง 6.14 แสดงการสำรวจความสูงอาคารเจริญวิศวกรรมที่ตำแหน่งต่างๆ กัน 10 ตำแหน่ง..... | 130 |
| ตาราง 6.15 แสดงมุมตั้งที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉพาะค่ามุมตั้งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 15.48 - 84.31 องศา..... | 131 |
| ตาราง 6.16 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องขั้นตอนการทำงานระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM.... | 138 |
| ตาราง 6.17 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องการใช้ทรัพยากรในการสำรวจระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM..... | 138 |

| | |
|---|-----|
| ตาราง 6.18 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องระยะเวลาในการทำงานระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM..... | 139 |
| ตาราง 6.19 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 1 | 140 |
| ตาราง 6.20 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ทั่วไป | 144 |
| ตาราง 6.21 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจในด้านการสนับสนุนงานสำรวจสถานที่ก่อสร้างขั้นต้น..... | 145 |
| ตาราง 6.22 แสดงจำนวนการตอบของกลุ่มตัวอย่างสำหรับคำถามที่มีตัวเลือกได้/ไม่ได้/ไม่แน่ใจ และ ใช้/ไม่ใช้/ไม่แน่ใจ | 146 |



สารบัญรูป

| | |
|--|----|
| รูป 1.1 แสดงวิธีการทำงานของการวัดในแนวดิ่งด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน (Teo et al., 2014)..... | 3 |
| รูป 2.1 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งโดยใช้กล้องสำรวจประกอบการคำนวณ..... | 8 |
| รูป 2.2 แสดงเครื่องมือวัดระยะด้วยเลเซอร์รุ่น PD-E (Hilti Corperation, 2017)..... | 9 |
| รูป 2.3 แสดงเวลาในการใช้สมาร์ตโฟนในแต่ละวัน (The Economist, 2015)..... | 10 |
| รูป 2.4 แสดงแผนภาพการเลือกใช้งานโปรแกรมประยุกต์แต่ละประเภท (Construction Data Company, 2014)..... | 11 |
| รูป 2.5 แสดงสถิติของปริมาณการส่งออกสินค้าประเภทสมาร์ตโฟนและคาดคะเนแนวโน้มในอนาคต ค.ศ. 2010 ถึง ค.ศ. 2019 (Statista, 2010)..... | 12 |
| รูป 2.6 แสดงตัวอย่างของความถูกต้อง ความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยที่แท้จริง ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 5725 และ BIPM..... | 15 |
| รูป 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของความถูกต้อง ความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยที่แท้จริง ตามมาตรฐาน ISO 5725 และ BIPM..... | 16 |
| รูป 2.8 แสดงจำนวนดาวนโหลดเฉลี่ยของโปรแกรมประยุกต์ทั้ง 4 ประเภทในงานสำรวจ (Teo et al., 2014)..... | 21 |
| รูป 2.9 แสดงความพึงพอใจของโปรแกรมประยุกต์ทั้ง 4 ประเภทในงานสำรวจ (Teo et al., 2014)..... | 21 |
| รูป 2.10 แสดงหลักการการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ArcGIS (Ogra and Arora, 2012)..... | 22 |
| รูป 2.11 Mobile GIS System Architecture ของ ArcGIS (Ogra and Arora, 2012)..... | 24 |
| รูป 2.12 แสดงการเก็บเอกสารแบบดั้งเดิมในงานก่อสร้าง..... | 24 |
| รูป 2.13 แสดงการเขียนคำสั่งเรียกใช้งานแผนที่จาก Map Kit (Apple Corperation, 2017)..... | 27 |
| รูป 2.14 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งโดย ConOHM..... | 28 |
| รูป 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Miles and Huberman, 1994)..... | 30 |

| | |
|---|----|
| รูป 3.1 แสดงการทำงานของโปรแกรมประยุกต์..... | 35 |
| รูป 4.1 แสดงภาพบรรยากาศในงาน | 47 |
| รูป 4.2 แสดงบัตรที่แลกมา | 47 |
| รูป 4.3 แสดงภาพรถรับอากาศที่ผู้ว่าจ้างได้จัดไว้ให้ | 48 |
| รูป 4.4 แสดงบรรยากาศการชี้แจงเพิ่มเติมและการใช้สมาร์ทโฟนของผู้เข้าร่วม | 48 |
| รูป 4.5 แสดงสถานที่ก่อสร้างที่อยู่ใกล้รั้วของเครื่องบิน | 49 |
| รูป 4.6 แสดงอุโมงค์เชื่อมส่งผู้โดยสาร | 50 |
| รูป 4.7 แสดงท่อของสายไฟและเครื่องมือต่างๆ..... | 50 |
| รูป 4.8 แสดงส่วนที่ชำรุดภายในอุโมงค์..... | 50 |
| รูป 4.9 แสดงบรรยากาศภายในอุโมงค์ที่มีฝุ่นละออง ทำให้ผู้เข้าร่วมต้องใส่หน้ากากไว้ตลอดเวลา... 51 | |
| รูป 4.10 แสดงบรรยากาศของสถานที่ที่ผู้ว่าจ้างให้เป็นที่ตั้งสำนักงานชั่วคราว | 51 |
| รูป 4.11 แสดงภาพถ่ายจากกล้องติดเครื่องบินบังคับ (Drone)..... | 52 |
| รูป 4.12 แสดงภาพสถานที่ก่อสร้างก่อนและหลังมีการปรับพื้นที่ | 53 |
| รูป 5.1 แสดงจุดที่วัดของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 60 |
| รูป 5.2 แสดงจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 60 |
| รูป 5.3 แสดงการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด..... | 62 |
| รูป 5.4 แสดงผลการวัดความสูงของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ | 63 |
| รูป 5.5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ | 64 |
| รูป 5.6 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดโดยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบันประกอบการคำนวณ..... | 66 |
| รูป 5.7 แสดงผลการวัดความสูงของโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยโปรแกรมประยุกต์ Object Height..... | 67 |

| | |
|---|----|
| รูป 5.8 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยโปรแกรม ประยุกต์ CamMeasure | 68 |
| รูป 5.9 แสดงกรณีระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้ง ของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | 74 |
| รูป 5.10 แสดงกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้ง ของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | 75 |
| รูป 5.11 แสดงกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้ง ของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม | 75 |
| รูป 5.12 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดิน ของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | 76 |
| รูป 5.13 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดิน ของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม | 76 |
| รูป 5.14 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดิน ของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | 77 |
| รูป 5.15 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดิน ของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | 77 |
| รูป 5.16 แสดงการวัดระดับความสูงกึ่งกลางจากศีรษะผู้ใช้ ในกรณีมุมเฉย | 80 |
| รูป 5.17 แสดงการวัดระดับความสูงกึ่งกลางจากศีรษะผู้ใช้ ในกรณีมุมก้ม | 81 |
| รูป 5.18 แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณความสูงต่างๆ | 84 |
| รูป 5.19 แสดงคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการโอเอสเอกซ์ รุ่น MacBook Air | 85 |
| รูป 5.20 แสดงสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการไอโอเอส รุ่น iPhone 5s ที่มา : http://www.apple.com | 88 |
| รูป 5.21 แสดงหน้าแรกของโปรแกรมประยุกต์ Xcode | 88 |
| รูป 5.22 แสดงหน้าการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ Xcode | 89 |
| รูป 5.23 แสดงการทำงานของ XCode (Macfeteria, 2012) | 91 |

| | |
|---|-----|
| รูป 5.24 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมเรียกข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากดาวเทียม ViewController.h | 92 |
| รูป 5.25 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมเรียกข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากดาวเทียม ViewController.m | 93 |
| รูป 5.26 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมคำนวณแยกกรณีชื่อ HeightViewController.h..... | 94 |
| รูป 5.27 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมคำนวณแยกกรณีชื่อ HeightViewController.m | 94 |
| รูป 5.28 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมสร้างรายงาน ReportViewController.h..... | 95 |
| รูป 5.29 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมสร้างรายงาน ReportViewController.m | 95 |
| รูป 5.31 แสดงหน้าต่างบันทึกรายละเอียดโครงการของโปรแกรมประยุกต์..... | 97 |
| รูป 5.30 แสดงผังการ..... | 98 |
| รูป 5.32 แสดงหน้าต่างแผนที่ทางภูมิศาสตร์ | 99 |
| รูป 5.33 แสดงหน้าต่างรับคำมุดึงของจุดสูงสุดของสิ่งที่ต้องการวัด..... | 99 |
| รูป 5.34 แสดงหน้าต่างแผนที่ของโครงการที่มีหมุดบันทึกอยู่..... | 100 |
| รูป 5.35 แสดงหน้าต่างส่งออกรายงานด้วยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ต | 101 |
| รูป 5.36 แสดงหน้าต่างรายงาน | 102 |
| รูป 6.1 แสดงตำแหน่งของหมุดควบคุม CU 09 | 105 |
| รูป 6.2 แผนผังบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 105 |
| รูป 6.3 รายละเอียดอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม..... | 107 |
| รูป 6.4 รายละเอียดอาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4)..... | 108 |
| รูป 6.5 รายละเอียดอาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี..... | 108 |
| รูป 6.6 รายละเอียดอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5)..... | 109 |
| รูป 6.7 รายละเอียดอาคารจักรพงษ์ (หอประวัติน)..... | 109 |

รูป 6.8 แสดงการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้
มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย 110

รูป 6.9 แสดงตำแหน่งการยืนของผู้ใช้ในการสำรวจความสูงอาคารเจริญวิศวกรรม 111

รูป 6.10 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรม 111

รูป 6.11 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดิน
ของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย 113

รูป 6.12 ตัวอย่างการวัดความสูงอาคารที่ตำแหน่งต่างๆ 116

รูป 6.13 แสดงจุดที่ต้องการวัดบนอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม 118

รูป 6.14 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรม 119

รูป 6.15 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาเทคโนโลยีด้วย 120

รูป 6.16 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารอนุศาสน์นันทกรรม 121

รูป 6.17 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารจักรพงษ์ 122

รูป 6.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความ
คลาดเคลื่อนของการวัด 5 อาคาร 126

รูป 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมตั้งที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อน
เฉพาะค่ามุมตั้งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 16 - 84 องศา 126

รูป 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความ
คลาดเคลื่อนของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม 127

รูป 6.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความ
คลาดเคลื่อนของอาคารเจริญวิศวกรรม 128

รูป 6.22 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจ 134

รูป 6.23 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวตั้งโดยใช้กล้องสำรวจประกอบการคำนวณ 135

รูป 6.24 แสดงบรรยากาศการทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่าง 142

รูป 6.25 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 2 143

รูป 7.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์อย่างง่าย 152

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในขั้นตอนเริ่มต้นของงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างก่อนเพื่อออกแบบการใช้พื้นที่และวางแผนการทำงาน โดยเริ่มจากการสำรวจว่าในพื้นที่นั้นๆ มีสิ่งใดที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานบ้าง เช่น ต้นไม้ รั้ว กำแพง อาคารและสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่แล้ว เป็นต้น โดยการสำรวจในช่วงนี้จะเป็นการสำรวจขั้นต้นที่ไม่ต้องการผลลัพธ์แบบละเอียดมากนัก แต่ก็ต้องเพียงพอที่จะสามารถรวบรวมสิ่งที่ต้องการวัดที่เป็นอุปสรรคต่อการเดินทางเข้าพื้นที่ก่อสร้างหรือการวางแผนสถานที่ก่อสร้างและการทำงานได้ เพื่อให้สามารถนำผลการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดต่างๆ มาพิจารณาว่าควรทำลายหรือย้ายตำแหน่งเพื่อความสะดวกในการทำงาน หรือต้องเปลี่ยนกระบวนการทำงานบางส่วนเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมหรือไม่ โดยเฉพาะการสำรวจในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะไม่สามารถนำเครื่องมือ อุปกรณ์สำรวจ และคนงานเข้าไปในพื้นที่ได้มากนัก ทำให้อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลได้มาก และนำไปสู่การวางแผนที่ผิดพลาดได้

เนื่องจากความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน ซึ่งอาจส่งผลถึงความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน (Nguyen and Brilakis, 2016) เช่น ความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ เสาไฟ อาคารในพื้นที่ก่อสร้างและอาคารบริเวณข้างเคียง จะมีผลต่อตำแหน่งของการติดตั้งปั้นจั่น เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของปั้นจั่นปะทะกับสิ่งปลูกสร้างดังกล่าว (Saovana and Tongthong, 2015) ความสูงของสันเขื่อนสำหรับการประมาณปริมาณงาน ความสูงของสะพานหรืออุโมงค์ที่มีก็เป็นอุปสรรคต่อการขนส่ง เนื่องจากรถที่ใช้มีความสูงหรือมีการบรรทุกของที่มีความสูงมากกว่า (Agrawal et al., 2012) ความสูงของบริเวณต่างๆ ของอาคารสำหรับติดตั้งเครื่องมือ รวมถึงความสูงของต้นไม้ที่เจ้าของงานมีความประสงค์ให้เก็บรักษาไว้ สิ่งปลูกสร้างที่คุณค่าทางจิตใจ หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ ซึ่งอาจมีผลต่อการออกแบบตำแหน่งของสถานที่ก่อสร้างและวิธีการทำงานต่างๆ เป็นต้น

การสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นพบว่าเจ้าของงานยังไม่ได้ให้ความสนใจมากนัก โดยเฉพาะเจ้าของงานที่ไม่มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธาเท่าใดนัก ทำให้ปัจจัยต่างๆ ที่อยู่ในสถานที่ก่อสร้างมักไม่ได้ถูกเปิดเผยต่อผู้ประมาณงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วน ส่งผลให้การวางแผนงานของผู้รับจ้างไม่มีประสิทธิภาพ และส่งผลกระทบต่อการทำงานก่อสร้างในเรื่องของค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในโครงการที่มากขึ้น (National Research Council, 1984)

ปัญหาอีกด้านในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นคือปัญหาเรื่องของความสะดวกของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ของแต่ละขั้นตอนการทำงาน เช่น เครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดซึ่งมีขนาดใหญ่ทำให้ใช้เวลาและใช้ผู้สำรวจจำนวนหนึ่ง รวมถึงตำแหน่งของการเก็บข้อมูลที่มีผลต่อข้อจำกัดของการใช้เครื่องมือ นอกจากนี้ยังต้องการเอกสารบันทึกผลเพื่อจัดทำรายงานจำนวนมาก ทำให้มีความไม่สะดวกในการจัดเก็บข้อมูล (Ogra and Arora, 2012) การบันทึก การจัดเก็บข้อมูล และการถ่ายโอนข้อมูลยังมีข้อจำกัดเนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นถูกจัดเก็บอยู่ต่างแหล่ง ทำให้ต้องนำมาจัดทำเป็นรายงานสรุปในภายหลัง และเป็นการยากที่จะนำเสนอให้ผู้อื่นเข้าใจ (Sulbaran, 2013) ซึ่งปัญหาดังกล่าวล้วนส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถถูกนำมาใช้ช่วยในงานก่อสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความสะดวกสบายในการทำงานมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้หากมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม ทั้งประเภทฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) และ ระบบปฏิบัติการต่างๆ เช่น การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตทำให้ช่วยลดปริมาณงานเอกสาร (Sulbaran, 2013) โดยบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ในฐานข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถเรียกใช้ แก้ไข และส่งต่อข้อมูลได้ และระบบการวัดด้วยตัวรับสัญญาณประเภทต่างๆ ในสมาร์ตโฟนนั้นสามารถถูกนำมาใช้ในงานสำรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Teo et al., 2014) หากแต่การพัฒนาในปัจจุบันยังไม่ค่อยเห็นถึงความสำคัญตรงจุดนี้ จึงควรมีโปรแกรมประยุกต์ที่สอดคล้องและมีประสิทธิภาพให้สามารถใช้งานก่อสร้างได้มากยิ่งขึ้น (EMA, 2015)

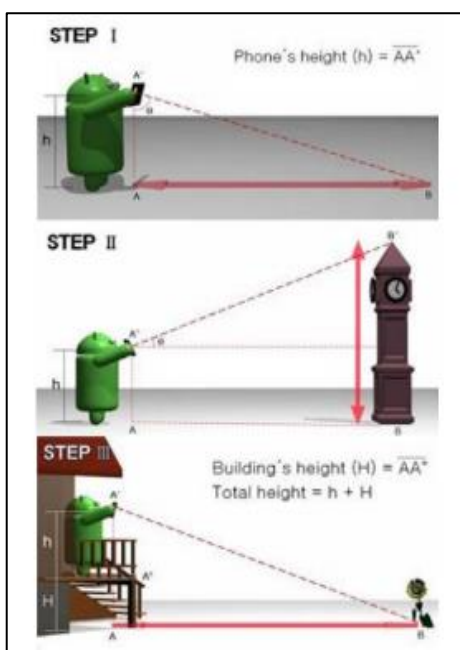
การใช้สมาร์ตโฟน (Smartphone) หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone) ที่มีประสิทธิภาพสูง และแท็บเล็ต (Tablet) นอกจากใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารทั่วไปแล้ว เริ่มมีบทบาทในงานก่อสร้างมากขึ้น (EMA, 2015) โดยเฉพาะงานหรือกิจกรรมที่จำเป็นต้องทำ ณ สถานที่ก่อสร้าง (Azhar and Cox, 2015) เนื่องจากสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบันมีระบบการทำงานมากมายที่สามารถนำประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) การวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) และการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless ; Bluetooth, 3G Internet) เป็นต้น

สำหรับการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดทั้งในและนอกพื้นที่ก่อสร้างในแนวตั้งด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนในปัจจุบันมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

1) คำนวณหาระยะทางระหว่างผู้วัดและสิ่งที่ต้องการวัดจากความสูงของผู้วัดและมุมตั้งที่วัดจากฐานของสิ่งที่ต้องการวัดด้วยตัวรับสัญญาณความเร็วเชิงมุมของสมาร์ตโฟน

2) คำนวณหาความสูงของระดับสมาร์ทโฟนถึงยอดของสิ่งที่ต้องการวัดจากระยะทางของผู้วัด และสิ่งที่ต้องการวัด รวมไปถึงมุมตั้งที่วัดจากยอดของสิ่งที่ต้องการวัดด้วยระบบวัดความเร็วเชิงมุมของสมาร์ทโฟน

3) คำนวณหาความสูงทั้งหมดโดยการรวมความสูงจากฐานของสิ่งที่ต้องการวัดถึงระดับของสมาร์ทโฟน และความสูงจากระดับของสมาร์ทโฟนถึงยอดของสิ่งที่ต้องการวัด



รูป 1.1 แสดงวิธีการทำงานของการวัดในแนวดิ่งด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน

(Teo et al., 2014)

อย่างไรก็ตามโปรแกรมประยุกต์ที่มีอยู่ในปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัดหลายประเภท โดยเฉพาะโปรแกรมประยุกต์ประเภทวัดความสูง ได้แก่

1) ข้อจำกัดเรื่องวิธีการวัดความสูง

ในปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้วัดความสูงมีหลักการคำนวณความสูงที่คล้ายคลึงกัน คือ การใช้หลักการของสามเหลี่ยมคล้ายดังที่แสดงวิธีการไว้ในรูป 1.1 ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องของความสูงที่ได้จากการวัดหลายประการ เช่น ความสูงของพื้นดินระหว่างผู้วัดเทียบกับสิ่งที่ต้องการวัด ความลาดชันระหว่างผู้วัดและสิ่งที่ ต้องการวัด และตำแหน่งฐานของวัตถุที่ต้องการวัด เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงถึงความถูกต้องของความสูงที่ได้รับ หากมีค่าใดค่าหนึ่งผิดเพี้ยนไปย่อมหมายถึงค่าความสูงที่จะคลาดเคลื่อนจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

ปัญหาที่เกิดขึ้นของการวัดความสูง คือ ในความเป็นจริงแล้วตำแหน่งของผู้วัดและสิ่งที่ต้องการวัดนั้นมีความสูงไม่เท่ากัน แม้จะอยู่บนระนาบเดียวกัน เนื่องจากมีความสูงพื้นดินเข้ามาเกี่ยวข้อง และในกรณีที่สิ่งที่ต้องการวัดนั้นอยู่ไกลมากจนทำให้มีอุปสรรคอื่นๆ มาขวางทำให้ไม่สามารถเห็นฐานของสิ่งที่ต้องการวัดได้ เป็นต้น จะส่งผลให้การวัดในแนวตั้งมีความคลาดเคลื่อนมาก

2) ข้อจำกัดเรื่องการบันทึกผลและการถ่ายโอนข้อมูล

จากการสำรวจโปรแกรมประยุกต์ที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่าโปรแกรมประยุกต์ประเภทนี้เป็นแบบ Single User การบันทึกผลการวัดจึงออกมาในรูปแบบของภาพถ่ายและข้อความแสดงความสูงของสิ่งนั้น ยังไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ทันที และไม่สามารถถ่ายโอนข้อมูลให้ผู้อื่นได้ จึงต้องมีการนำผลการวัดมาจัดทำเป็นรายงานหรือเอกสารอีกทีหนึ่ง เพื่อให้สามารถนำไปเป็นสื่อกลางในการประชุม แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น การวางผังพื้นที่ก่อสร้าง และการวางแผนการทำงาน เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอการวัดในแนวตั้งของอุปสรรคต่างๆ ทั้งในและนอกพื้นที่ก่อสร้างด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต “ConOHM” (Construction Obstruction Height Measurement) ที่สามารถลดข้อจำกัดของการวัดจากวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ไคลโนมิเตอร์ สามเหลี่ยมรูปคล้าย กล้องดิจิทัล และกล้องจีโอโดไลท์ เป็นต้น โดยการใช้ระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) ตัวรับสัญญาณวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) และตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor) บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาถึงรูปแบบการทำงานสำรวจในขั้นเริ่มต้นของการก่อสร้างเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานและนำเสนอปัจจัยเหล่านั้นเพื่อพัฒนาเครื่องมือให้ตอบสนองต่อปัญหาในการทำงานสำรวจในขั้นต้นของการก่อสร้าง

1.2.2 พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ “ConOHM” โดยใช้การทำงานร่วมกันของระบบ GIS GPS ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย ตัวรับสัญญาณความเร่งของแรงโน้มถ่วง ตัวรับสัญญาณความเร็วเชิงมุม และตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ เพื่อช่วยสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างในขั้นต้น

1.2.3 นำเสนอวิธีการวัดความสูงด้วยสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตโดยใช้ตัวรับสัญญาณความดันอากาศ เพื่อหาความสูงของสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตเมื่อผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน สำหรับการประมาณความสูงและระบุตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัดในขั้นตอนแรกของงานก่อสร้าง

1.2.4 เพื่อแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตกับการใช้กล้องสำรวจ ในเรื่องของความสะดวก ความแม่นยำ และระยะเวลาในการดำเนินงาน เพื่อช่วยในการสำรวจสถานที่ก่อสร้างเบื้องต้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การทำงานในขั้นต้นของการก่อสร้างทางด้านโยธา เช่น การเก็บข้อมูลเพื่อนำไปประมาณงาน การวางแผนการทำงาน การเตรียมสถานที่ก่อสร้าง เป็นต้น

1.3.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิจัย

สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่รองรับโปรแกรมประยุกต์ระบบปฏิบัติการไอโอเอส เช่น iPhone iPod touch และ iPad เป็นต้น ที่ประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของระบบและตัวรับสัญญาณต่างๆ ดังนี้

- 1) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
- 2) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS)
- 3) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless)
- 4) ตัวรับสัญญาณวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope)
- 5) ตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor)
- 6) ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure Sensor)

- คอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ระบบปฏิบัติการไอโอเอส เช่น iMac Macbook Pro และ Macbook Air เป็นต้น

1.3.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ คือ Xcode รุ่น 7.0.1 โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ Objective-C ในการพัฒนาโปรแกรม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานทางด้านโยธาในขั้นต้นของการก่อสร้าง เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของโครงการก่อสร้าง

1.4.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดโดยใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่สามารถสนับสนุนการทำงานทางด้านโยธา

1.4.3 สอบถามและสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ถึงหลักการทำงานจริง รวมไปถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในขั้นต้นของโครงการก่อสร้าง

1.4.4 ออกแบบการแสดงผลและการใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตให้สอดคล้องกับการทำงานในโครงการจริง

1.4.5 พัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวัดความสูงสิ่งที่ต้องการวัด เพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการทำงานในขั้นต้นของการวางแผนการก่อสร้าง

1.4.6 ทดสอบความแม่นยำของระบบ เพื่อปรับแก้ให้มีความถูกต้องสามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้

1.4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการสำรวจแบบดั้งเดิมและการสำรวจโดยใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต

1.4.8 ทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มวิศวกรโยธา เช่น วิศวกรสนาม วิศวกรสำรวจ วิศวกรที่ปรึกษา และหัวหน้าโครงการ เป็นต้น

1.4.9 สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรมประยุกต์ ConOHM ที่สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น เช่น การวัดความสูง หมายตำแหน่งสิ่งกีดขวาง และการสร้างรายงาน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้นั้นไปใช้เพื่อการวางแผนงานก่อสร้างในขั้นต่อไป เช่น การวางผังสถานที่ก่อสร้าง การวางแผนการทำงาน การวางแผนการขนส่งวัสดุ เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ภายในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาของงานวิจัย เพื่อให้เห็นถึงภาพรวมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 8 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) บทนำ 2) การสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งด้วยวิธีดั้งเดิม 3) เครื่องมือที่อาศัยเทคโนโลยีในการวัดความสูง 4) สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตกับการทำงานในปัจจุบัน 5) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตช่วยงานก่อสร้างทางด้านการสำรวจ 6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ 7) มาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Scale) 8) ทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) และ 9) สรุป

2.2 การสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งด้วยวิธีดั้งเดิม

การสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่ง หมายถึง การสำรวจเพื่อให้ทราบถึงค่าความสูงหรือความลึกของสิ่งที่ผู้สำรวจสนใจ เช่น ความสูงของสิ่งปลูกสร้างและภูมิประเทศ เป็นต้น โดยมีเครื่องมือและขั้นตอนในการทำงานดังนี้

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กล้องธีโอโดไลท์ หรือ กล้อง Total Station
- 2) เทปวัดระยะ
- 3) หมุดไม้
- 4) ค้อน
- 5) เข็มทิศ
- 6) เป้าปรีซิม
- 7) สมุดบันทึก

2.2.2 วิธีปฏิบัติ

1) วัดความสูงจากพื้นถึงแกนกล้องธีโอดไลต์ หรือ กล้อง Total Station (AF) ด้วย เทปวัดระยะ

2) วัดระยะจากกล้องธีโอดไลต์ หรือ กล้อง Total Station ถึงฐานของสิ่งที่ต้องการ วัด (FD) ด้วยเทปวัดระยะ หรือเป้าปริซึม หรือคำนวณจากสมการ

3) วัดมุมเงยด้วยกล้องธีโอดไลต์ หรือ กล้อง Total Station โดยเปิดมุมไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัด (θ_1)

4) คำนวณหาความสูง DE จากทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส

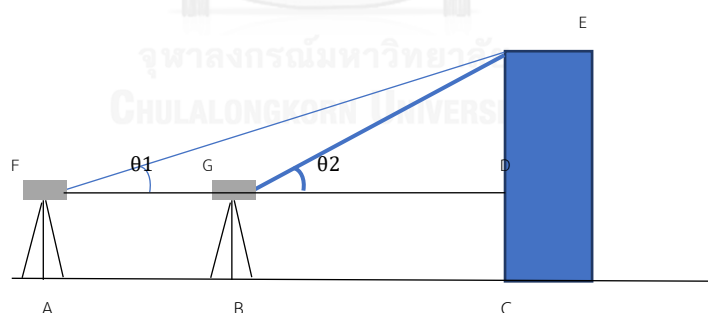
$$\text{ความสูง DE} = \tan(\theta_1) \times \text{ระยะ FD}$$

5) หาความสูง CD ด้วยกล้องระดับ

6) คำนวณหาความสูงทั้งหมดของสิ่งที่ต้องการวัด (CE) จากสมการ

$$\text{ระยะ CE} = \text{ระยะ CD} + \text{ระยะ DE}$$

7) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) – 6) โดยตั้งกล้องที่จุด B



รูป 2.1 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวตั้งโดยใช้กล้องสำรวจประกอบการคำนวณ

2.3 เครื่องมือที่อาศัยเทคโนโลยีในการวัดความสูง

ในปัจจุบัน มีเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการวัดความสูงโดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดระยะชนิดไม้หรือเทปวัดระยะอีกต่อไป ตัวอย่างของเครื่องมือที่อาศัยเทคโนโลยีในการวัดความสูงได้แก่

2.3.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์

เครื่องวัดระยะชนิดนี้อาศัยหลักการสะท้อนของแสงเลเซอร์เมื่อตกกระทบกับของหรือวัตถุ ณ จุดที่ต้องการทราบระยะทาง และทำการคำนวณแปลค่าออกมาเป็นระยะทาง ตัวอย่างของอุปกรณ์ชนิดนี้ได้แก่ เครื่องมือวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ของ Hilti Corporation รุ่น PD-E โดยมีระยะทำการที่ประมาณ 100 ถึง 200 เมตร (Hilti Corporation, 2017)



รูป 2.2 แสดงเครื่องมือวัดระยะด้วยเลเซอร์รุ่น PD-E (Hilti Corporation, 2017)

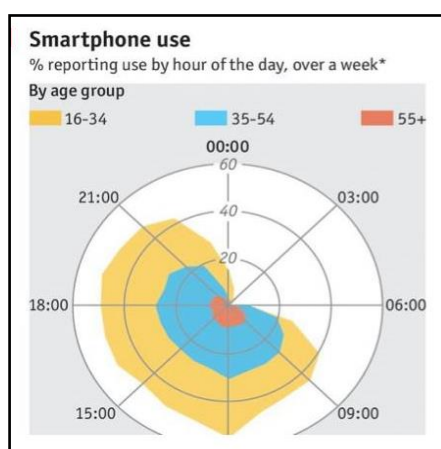
2.3.2 สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต

ในปัจจุบัน สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตสามารถทำงานได้หลากหลายชนิดมากขึ้น เนื่องจากมีอุปกรณ์ต่างๆ ที่สนับสนุนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ได้เป็นจำนวนมาก เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) ตัวรับสัญญาณวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope Sensor) ตัวรับสัญญาณวัดความกดอากาศ (Barometric Sensor) และตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor) เป็นต้น ซึ่งจะถูกล่ามถึงในหัวข้อต่อไป

2.4 สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตกับการทำงานในปัจจุบัน

จากบทความและการสำรวจต่างๆ พบว่าเทคโนโลยีสมาร์ทโฟนมีความสำคัญต่อการใช้ชีวิตและการทำงาน รวมถึงแนวโน้มปริมาณของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นทุกปี ดังตัวอย่างดังต่อไปนี้

บทความจากนิตยสารออนไลน์ ดี อีโคโนมิสต์ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 กล่าวถึงพฤติกรรมการใช้สมาร์ทโฟนโดยเริ่มตั้งแต่ 06.30 น. ถึง 21.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานและพักผ่อนของคนส่วนมาก



รูป 2.3 แสดงเวลาในการใช้สมาร์ทโฟนในแต่ละวัน (The Economist, 2015)

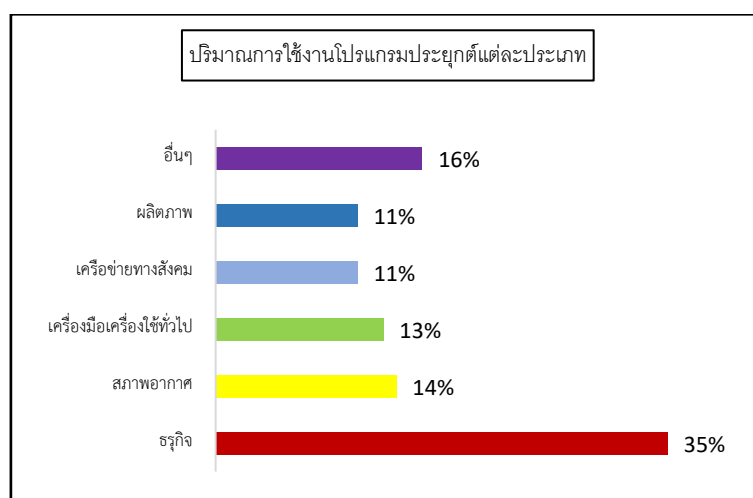
สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง งานวิจัยของ อีเอ็มเอ คอนแทรคเตอร์ (EMA Contractors) ค.ศ. 2015 เปิดเผยว่า

- มีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างใช้สมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 จากปี ค.ศ. 2012 และมีการใช้แท็บเล็ตเพิ่มขึ้นร้อยละ 54
- ร้อยละ 68 ของผู้รับเหมาก่อสร้างใช้สมาร์ทโฟนในการทำงาน และใช้แท็บเล็ตประมาณร้อยละ 22
- ร้อยละ 40 ของผู้รับเหมาก่อสร้างใช้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในการตัดสินใจสั่งซื้อวัสดุก่อสร้าง และร้อยละ 56 ใช้สมาร์ทโฟนทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในสำนักงาน

จอห์น โอ ฮารา (John O. Hara) ประธานองค์กรอีเอ็มเอ คอนแทรคเตอร์ (EMA Contractors) กล่าวว่า “การใช้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในงานก่อสร้างสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างนั้นมี

ความจำเป็นมาก แต่การตลาดยังไม่เห็นถึงความสำคัญนี้เท่าใดนัก จึงควรมีโปรแกรมประยุกต์ที่รองรับ และมีประสิทธิภาพให้พวกเขาสามารถใช้งานก่อสร้างได้”

อีกหนึ่งผลสำรวจที่สนับสนุนว่าผู้ใช้สมาร์ทโฟนในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ให้เข้ากับงานและอาชีพ คือผลสำรวจการใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมก่อสร้างของบริษัท คอนสตรัคชันเดต้า (Construction Data) ปี ค.ศ. 2014 เปิดเผยว่า โปรแกรมประยุกต์ประเภทธุรกิจ เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ผู้ใช้สมาร์ทโฟนเลือกใช้งานมากที่สุด



รูป 2.4 แสดงแผนภาพการเลือกใช้งานโปรแกรมประยุกต์แต่ละประเภท

(Construction Data Company, 2014)

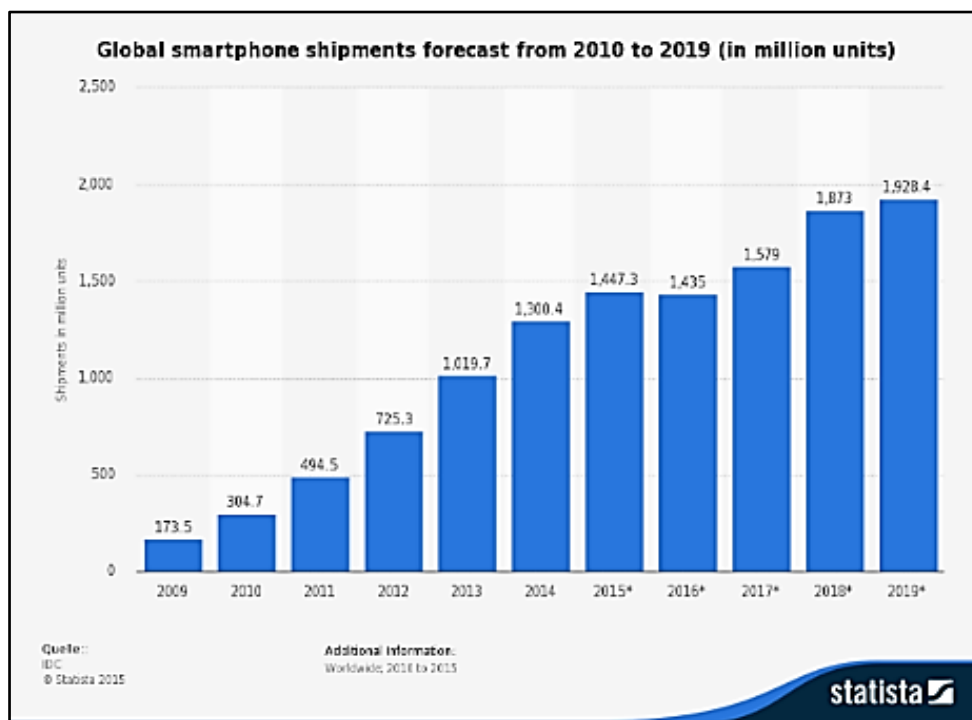
นอกจากนี้แนวโน้มความต้องการของตลาดสมาร์ทโฟนจากสถิติการส่งสินค้าตั้งแต่ปัจจุบัน รวมถึงการคาดคะเนแนวโน้มในอนาคต โดยสำนักสถิติสแตติสตา (Statista, 2010) ยังแสดงให้เห็นว่า แนวโน้มตลาดของสมาร์ทโฟนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในแต่ละปีอีกด้วย

2.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตช่วยงานก่อสร้างทางการสำรวจ

2.5.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสำรวจ

การสำรวจเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งเกี่ยวกับการวัดและการหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดบนภูมิประเทศ ได้แก่ มุม ระยะทาง พื้นที่ ค่าระดับ และปริมาตร ทั้งในแนวราบ แนวตั้ง และแนวเอียง จากเครื่องมือและเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเข็มทิศ กล้องวัดมุม และการระบุตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม เป็นต้น เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการทำแผนผังหรือแผนที่ โดยการย้ายตำแหน่งของสิ่งต่างๆ

บนภูมิประเทศมาอยู่บนแผ่นกระดาษด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสม หรือประกอบการออกแบบก่อสร้างอื่นๆ ได้



รูป 2.5 แสดงสถิติของปริมาณการส่งออกสินค้าประเภทสมาร์ทโฟนและคาดคะเนแนวโน้มในอนาคต ค.ศ. 2010 ถึง ค.ศ. 2019 (Statista, 2010)

วิศวกรรมสำรวจนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของภูมิศาสตร์ กล่าวคือ พื้นผิวโลกนั้นถูกแบ่งออกเพียง 3 แกน หรือ 3 มิติ ซึ่งก็คือ แกน X หรือแนวทางทิศตะวันออก (Easterly) แกน Y หรือ แนวทางทิศเหนือ (Northerly) และ แกน Z หรือแนวตั้ง (Height) หรือที่ใช้กันในงานสำรวจทั่วไปคือ ระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือ Mean sea level (Kavanagh, 2009)

2.5.1.1 ประเภทของการสำรวจ

ประเภทของการสำรวจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ (เอื้ออักษมาลัย, 2556)

1) การสำรวจบนพื้นราบ (Plane Surveying)

การสำรวจที่ไม่พิจารณาความโค้งของผิวโลก โดยสมมุติว่าเส้นระดับเป็นเส้นตรงและขนานกัน เหมาะสำหรับการสำรวจบนพื้นที่ขนาดเล็กกว่า 200 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าความผิดพลาดจากการไม่พิจารณาความโค้งของโลกและการหักเหของแสง

2) การสำรวจชั้นสูง (Geodetic Surveying)

การสำรวจที่พิจารณาความโค้งของโลก โดยรูปทรงของสัณฐานโลกมีลักษณะเป็นรูปทรงรี ทำให้แต่ละพิกัดจุดมีความสูงไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องใช้ควบคู่กับระดับน้ำทะเลปานกลางเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูงที่สุด

2.5.1.2 ความถูกต้องและความแม่นยำ

ความถูกต้อง (Accuracy) คือการพิจารณาคุณภาพของผลลัพธ์หนึ่งๆ ที่มีความใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด โดยอาจมีความแม่นยำของข้อมูลจากการวัดมากหรือน้อย หากค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายครั้งมีความใกล้เคียงค่าที่แท้จริงมาก ค่านั้นจะถูกยอมรับว่าเป็นค่าอ้างอิงหรือมาตรฐาน (Trueness) ในขณะที่ความแม่นยำ (Precision) หมายถึงข้อมูลที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การที่มีความแม่นยำมากก็ไม่ได้หมายความว่าค่าความถูกต้องสูง ตัวอย่างเช่น ผู้ทำการทดสอบมีความชำนาญในการใช้เครื่องมืออย่างมาก แต่เครื่องมือนั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่ได้มาตรฐานส่งผลให้ค่าเฉลี่ยมีความแม่นยำสูง แต่ความถูกต้องต่ำ และไม่สามารถใช้เป็นค่าที่อ้างอิงได้

จากมาตรฐาน ISO 5725 และ BIPM (Goyon et al., 2010) เสนอตัวอย่างการอธิบายความหมายของความถูกต้องและความแม่นยำด้วยการสาธิตการยิงปืน เมื่อกำหนดว่าจุดตัดตรงกลางบริเวณสีแดงคือค่าที่แท้จริง

2.5.1.3 ความคลาดเคลื่อนและความผิดพลาด

ความคลาดเคลื่อน (Error) หมายถึงค่าความแตกต่างระหว่างการวัดกับความเป็นจริง ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไม่ว่าจะใช้อุปกรณ์ที่มีความละเอียดหรือผู้วัดมีความชำนาญมากขนาดไหนก็ตาม และยังส่งผลต่อความถูกต้องและความแม่นยำของผลลัพธ์ด้วย การวัดที่ดีจึงควรหลีกเลี่ยงการเกิดความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุต่างๆ ให้ได้มากที่สุด

ชนิดของความคลาดเคลื่อนนั้นมีการแบ่งเป็น 2 ชนิด (Taylor, 1997)

1) ค่าความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบ (Systematic Error) คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอไปในทิศทางเดียวกันจากการวัดหลายๆ ครั้ง โดยส่วนมากจะมาจากประสิทธิภาพของเครื่องมือต่างๆ ว่าจะมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ไม่สามารถตรวจสอบหรือลดลงจากการเพิ่มจำนวนการวัดได้ เนื่องจากผลหรือค่าเฉลี่ยที่ได้จะออกมาในรูปแบบและปริมาณใกล้เคียงกับครั้งก่อนหน้าทุกครั้ง แต่สามารถปรับแก้ได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ขึ้นอยู่กับเครื่องมือแต่ละชนิด

2) ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors) หรือค่าความคลาดเคลื่อนโดยบังเอิญ (Accidental Errors) คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ อาจเกิดขึ้นจากเครื่องมือชำรุดหรืออยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ รวมถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนการวัดต่างกัน ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ไม่สามารถปรับแก้ได้ แต่ทำให้ค่าลดลงได้โดยการเพิ่มจำนวนวัดและใช้วิธีการทางสถิติ

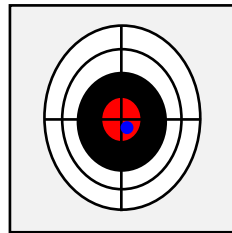
ในบทความ Error Analysis (Non-Calculus) โดย Dr. Donald E. Simanek ปี พ.ศ. 2557 แบ่งออกเป็น 2 ชนิดเช่นกัน ต่างกันที่ชื่อเรียก ซึ่งใช้คำว่า ความคลาดเคลื่อนที่แน่นอน (Determinate Errors) และความคลาดเคลื่อนที่ไม่แน่นอน (Indeterminate Errors) โดยความคลาดเคลื่อนที่แน่นอนมีความหมายเดียวกับความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบ และความคลาดเคลื่อนที่ไม่แน่นอนมีความหมายเดียวกับความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Simanek, 2014)

นอกจากนี้ ในบทความ Error Types โดย Allchin (2001) นั้นแบ่งออกเป็น 4 ชนิดโดยมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนี้

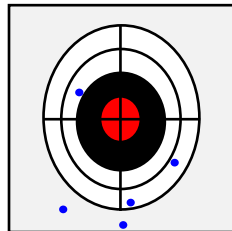
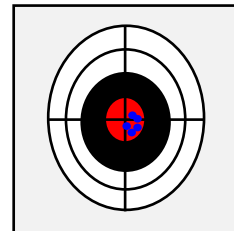
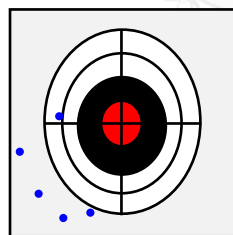
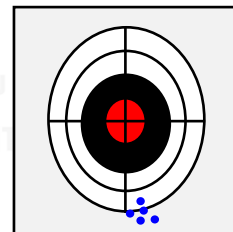
- 1) ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ (Material Errors) คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือและอุปกรณ์การวัด รวมถึงเทคนิคและความชำนาญในการใช้เครื่องมือด้วย
- 2) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสังเกต (Observational Errors) คือความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าการวัด หรือการวัดที่มีความลำเอียง
- 3) ค่าความคลาดเคลื่อนจากแนวคิด (Conceptual Errors) คือความคลาดเคลื่อนที่ผิดเพี้ยนไปจากทฤษฎี ไม่มีเหตุผลและคำอธิบายสนับสนุนที่เพียงพอ
- 4) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสับสน (Discursive Errors) คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสื่อสารหรือการแปลความหมายที่ไม่สมบูรณ์ ผิดพลาด การศึกษาทางทฤษฎีที่ไม่เพียงพอ และการตัดสินใจที่ผิดพลาด

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (เอื้ออักษมาลัย, 2556)

- 1) ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ (Instrumental Errors) เช่น ไม่ได้มาตรฐาน มีการชำรุดหรือไม่สมบูรณ์
- 2) ความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการวัด (Personal Errors) เช่น ความบกพร่องทางสายตา และความไม่พร้อมของสมรรถภาพทางกาย เป็นต้น

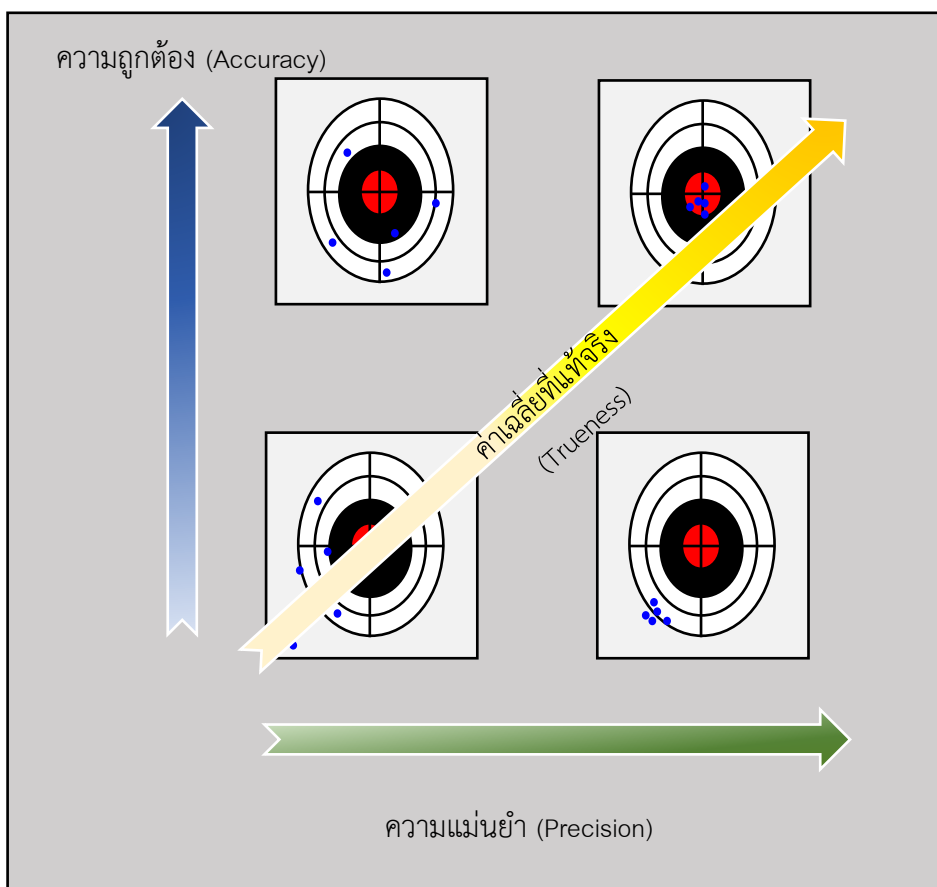


(ก) ค่ามีความถูกต้องสูง

(ข) ค่ามีความถูกต้องปานกลาง ความแม่นยำต่ำ
และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงความจริงต่ำ(ค) ค่ามีความถูกต้องสูง ความแม่นยำสูง
และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงความจริงสูง(ง) ค่ามีความถูกต้องต่ำ ความแม่นยำต่ำ
และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงความจริงต่ำ(จ) ค่ามีความถูกต้องต่ำ ความแม่นยำสูง
และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงความจริงต่ำ

รูป 2.6 แสดงตัวอย่างของความถูกต้อง ความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยที่แท้จริง ดัดแปลงจากมาตรฐาน

ISO 5725 และ BIPM



รูป 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของความถูกต้อง ความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยที่แท้จริง
ตามมาตรฐาน ISO 5725 และ BIPM

3) ความคลาดเคลื่อนจากธรรมชาติ (Natural Errors) สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อการวัด เช่น แรงลม อุณหภูมิ ความไม่สม่ำเสมอของพื้นดิน และแสงจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

ความผิดพลาด (Mistake) นั้นไม่ใช่ความคลาดเคลื่อน แต่เป็นค่าความผิดที่เกิดจากการเลินเล่อของผู้วัด โดยเกิดเป็นจำนวนเพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้น หรืออาจเกิดบ่อยครั้งแต่ด้วยสาเหตุที่แตกต่างกันไป สามารถลดค่าความผิดพลาดนี้ได้โดยการตรวจสอบว่าเกิดในการวัดครั้งใดและเพราะเหตุใด หากเป็นการเกิดที่ยอมรับไม่ได้ให้ทำการแก้ไขค่าจากการวัดครั้งนั้น

2.5.2 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

เทคโนโลยีสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตเริ่มเข้ามามีอิทธิพลต่องานก่อสร้าง จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับความนิยมในการใช้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตรุ่นต่างๆ ของวิศวกรโยธา ณ สถานที่ก่อสร้างจริงหรืองาน

ที่จำเป็นต้องทำนอกสำนักงาน ประเภทของงานทางวิศวกรรมโยธา และความนิยมของโปรแกรมประยุกต์ที่เลือกใช้มีจำหน่ายใน iTunes Store และ Google Play (Azhar and Cox, 2015)

ตาราง 2.1 ประเภทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาที่ใช้ ณ สถานที่ก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015))

| อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา | จำนวนผู้ตอบรับ | ร้อยละของผู้ตอบรับ |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|
| iPad | 27 | 49.1 |
| iPhone | 25 | 45.7 |
| Blackberry | 21 | 38.2 |
| Android Phone | 18 | 32.7 |
| Tablet PC | 11 | 20.0 |
| Android Tablet | 5 | 9.1 |
| Radio Frequency Identification (RFID) | 5 | 9.1 |
| อื่นๆ | 4 | 7.8 |
| Windows Tablet | 3 | 5.5 |
| Windows Phone | 3 | 5.5 |

ตาราง 2.2 ประเภทการใช้งานสมาร์ทโฟนช่วยในงานก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015))

| โปรแกรมประยุกต์ | จำนวนผู้ตอบรับ | ร้อยละของผู้ตอบรับ |
|-----------------------------|----------------|--------------------|
| ถ่ายภาพ | 38 | 69.1 |
| รายการสิ่งที่ต้องทำ | 30 | 54.5 |
| เอกสารเงื่อนไข | 26 | 47.3 |
| คำแนะนำเกี่ยวกับความปลอดภัย | 22 | 40.0 |

ตาราง 2.2 ประเภทการใช้งานสมาร์ทโฟนช่วยในงานก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015)) (ต่อ)

| โปรแกรมประยุกต์ | จำนวนผู้ตอบรับ | ร้อยละของผู้ตอบรับ |
|--|----------------|--------------------|
| แผนงานและการเงิน | 17 | 30.9 |
| BIM | 16 | 29.1 |
| เอกสารในโครงการ | 15 | 27.3 |
| ติดตามวัสดุและอุปกรณ์ | 14 | 25.5 |
| เปลี่ยนแปลงการสั่งซื้อ | 11 | 20.0 |
| วางแผนและส่งงาน | 10 | 18.2 |
| ติดตามการดูแลรักษาอุปกรณ์และเครื่องมือ | 9 | 16.4 |
| อื่นๆ | 9 | 16.4 |
| ติดตามเวลางานของพนักงาน | 8 | 14.5 |
| การฝึกอบรมและการติดตามงาน | 5 | 9.1 |

เทคโนโลยีสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตสามารถเก็บข้อมูลแบบ Real-time (Sharma et al., 2014) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างได้ดังนี้

1) งานสำรวจและออกแบบเบื้องต้น

งานสำรวจและการเก็บข้อมูลจากการสำรวจเพื่อใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างจุดของพื้นที่ก่อสร้าง เช่น การใช้ระบบดาวเทียมหาตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด การใช้ระบบดาวเทียมหา ระดับความสูง การหาระยะทาง พื้นที่ และตัวแปรอื่นๆ โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การใช้แผนที่ และระบบเข็มทิศ เป็นต้น

ตาราง 2.3 ประเภทการใช้งานสมาร์ทโฟนช่วยในงานก่อสร้าง (ดัดแปลงจาก Azhar and Cox (2015))

| ชื่อโปรแกรมประยุกต์ | คำอธิบาย | ร้อยละของผู้ตอบรับ |
|---------------------------|--|--------------------|
| PlanGrid | อ่านและแก้ไขแบบแปลน และภาพถ่าย | 57.4 |
| PunchLists | นำเข้าภาพถ่ายเพื่อทำรายการสิ่งที่ต้องทำ | 48.5 |
| My Dimensions Pro | วัดระยะสิ่งก่อสร้าง | 45.2 |
| Snapseed | แก้ไขรูปภาพ | 41.1 |
| Construction Master Pro | เครื่องคิดเลขสำหรับงานก่อสร้าง | 37.8 |
| iBluePrint | สร้างและส่งออกแบบแปลน | 36.5 |
| OSHA Heat and Safety Tool | คำนวณระดับความเสี่ยงสำหรับคนงานและเสนอคำแนะนำด้านความปลอดภัย | 32.8 |
| BIMx | นำเสนอ 3D BIM | 29.7 |
| Green Pro | สามารถเข้าถึงข้อมูลมาตรฐาน LEED | 28.1 |
| SmartBidNet | ซอฟต์แวร์การจัดการการประมูล | 26.4 |

2) การตรวจสอบสภาพแวดล้อม

การตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น มลภาวะทางเสียง มลพิษทางอากาศ เป็นต้น โดยสามารถวัดปริมาณมลพิษประเภทดังกล่าวตามสถานที่ต่างๆ เพื่อสร้างเป็นแผนที่ระดับมลพิษ

3) การจราจรและการขนส่ง

ประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่สามารถคำนวณหรือแก้ไขปัญหาทางจราจร เช่น การหาระยะเวลาการเดินทางจริงเพื่อนำไปประเมินหาระยะเวลาการเดินทางในอนาคต การใช้ระบบดาวเทียมหรือ GPS ติดตามพาหนะเพื่อแสดงเส้นทางการเดินทางและการจัดการการใช้พาหนะ เป็นต้น

ตาราง 2.4 แสดงปริมาณมลภาวะทางเสียงของพื้นที่แต่ละประเภท (ดัดแปลงจาก Sharma et al. (2014))

| รหัสพื้นที่ | ประเภทของพื้นที่ | ปริมาณมลภาวะทางเสียง (dB) | |
|-------------|--------------------|---------------------------|-------------|
| | | ช่วงกลางวัน | ช่วงกลางคืน |
| A | พื้นที่อุตสาหกรรม | 75 | 70 |
| B | พื้นที่ธุรกิจ | 90 | 65 |
| C | พื้นที่ที่พักอาศัย | 60 | 50 |
| D | พื้นที่ไร้เสียง | 55 | 45 |

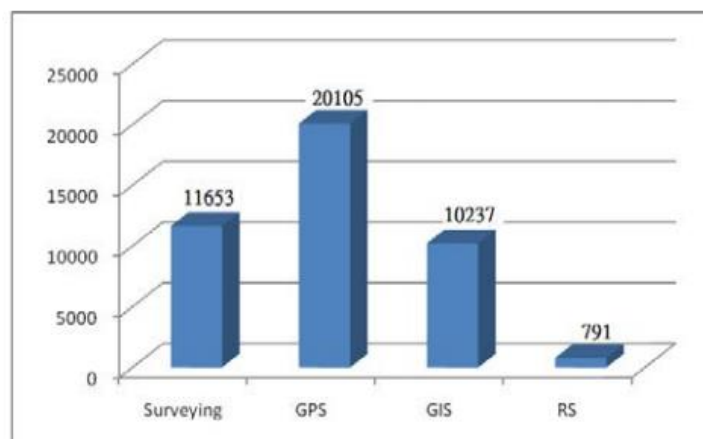
4) การบริหารพื้นที่ก่อสร้าง

บริหารพื้นที่ก่อสร้างโดยใช้ระบบ GIS อินเทอร์เน็ต และการคำนวณบนสมาร์ตโฟน เพื่อวางแผน และปรับปรุงงานก่อสร้าง โดยบันทึกและติดตามความก้าวหน้าของแต่ละกิจกรรม รวมถึงปัญหาและแนวทางแก้ไขแบบ Real-time

2.5.3 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ

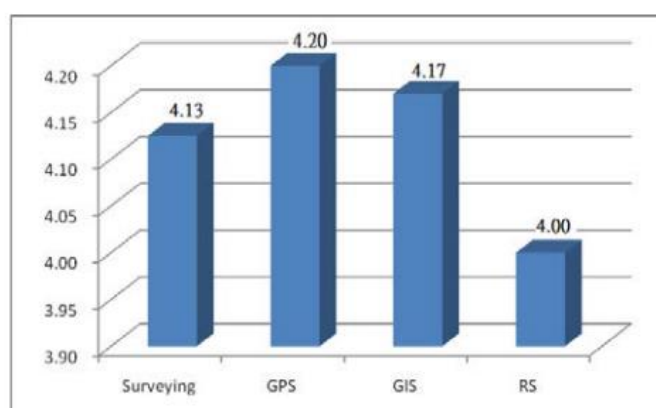
โปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลจากการสำรวจภูมิประเทศ (Teo et al., 2014) สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ การสำรวจ ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งในปัจจุบัน สมาร์ตโฟนยังมีระบบอื่นๆ ที่สามารถวัดค่าได้ เช่น การวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) การวัดด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic sensors) การวัดแสง (Light sensors) การวัดความดัน (Pressure sensors) และการวัดอุณหภูมิ (Temperature sensors) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลของงานวิจัยนี้พบว่าโปรแกรมประยุกต์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 1 – 2 ระบบ และบางโปรแกรมสามารถทำได้เพียงวัดค่าและให้ผู้ใช้บันทึกผลในเอกสารภายนอก จึงจำเป็นต้องใช้หลายโปรแกรมเพื่อที่จะสำรวจให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการสำรวจแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยพบว่าผู้ใช้ที่ใช้งานโปรแกรมประยุกต์ด้านการสำรวจมีความพึงพอใจกับการใช้งานอย่างมาก (มากกว่าหรือเท่ากับ 4 คะแนน) ซึ่ง

เป็นแนวโน้มที่ดีที่ผู้ใช้มีความรู้สึกที่ดีกับการใช้โปรแกรมประยุกต์เพื่อการสำรวจ เนื่องจากผู้ใช้จะรู้สึกเปิดกว้างกับการใช้โปรแกรมประยุกต์และไม่ยึดติดกับการทำงานแบบเดิม



รูป 2.8 แสดงจำนวนดาวน์โหลดเฉลี่ยของโปรแกรมประยุกต์ทั้ง 4 ประเภทในงานสำรวจ (Teo et al., 2014)

โปรแกรมประยุกต์ช่วยในงานก่อสร้างเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลจากการสำรวจภูมิประเทศที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ArcGIS (Ogra and Arora, 2012) ประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม ซึ่งมีหลักการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ดังนี้



รูป 2.9 แสดงความพึงพอใจของโปรแกรมประยุกต์ทั้ง 4 ประเภทในงานสำรวจ (Teo et al., 2014)



รูป 2.10 แสดงหลักการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ArcGIS (Ogra and Arora, 2012)

1) จัดทำการสำรวจ (Perform Survey)

ผู้ใช้งานสามารถทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งหรือทำการปักหมุดลงบนแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยโปรแกรมประยุกต์จะสามารถดึงข้อมูลระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียม และให้ผู้ใช้งานใส่ข้อมูลต่างๆ ของตำแหน่งนั้น เช่น ชื่อตึก จำนวนชั้น และพื้นที่ทำการสำรวจ เป็นต้น สำหรับสร้างรายงานการสำรวจ

2) อัปโหลดเข้าไปยังระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Upload to GIS)

หลังจากการระบุตำแหน่งบนแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โปรแกรมประยุกต์จะส่งข้อมูลการสำรวจ รวมถึงรูปภาพของพื้นที่ทำการสำรวจไปยังฐานข้อมูล

3) จัดการข้อมูล (Manage Information)

ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขรายละเอียดของแต่ละตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายปักหมุดไว้ ก่อนที่จะส่งข้อมูลเพื่อสร้างรายงานการสำรวจ

4) สร้างรายงาน (Custom Report)

การสร้างรายงานสามารถทำได้หลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของงาน โดยแต่ละฝ่ายควรเริ่มที่รายงานการสำรวจเดียวกัน และทำการเพิ่มเติมข้อมูลการทำงานเพื่อการติดตามผล ความก้าวหน้า ระบุปัญหาที่เกิดขึ้น และวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหา

5) ผลสัมฤทธิ์ (Achieve)

สามารถนำรายงานการสำรวจไปสนับสนุนข้อมูลในส่วนงานต่างๆ ได้เมื่อจำเป็น

Mobile GIS System Architecture สำหรับโปรแกรมประยุกต์ ArcGIS แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับเก็บข้อมูล ได้แก่ คอมพิวเตอร์สำนักงาน คอมพิวเตอร์แบบพกพา สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต

ส่วนที่ 2 ความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ ได้แก่ การแบ่งปันข้อมูลแบบออนไลน์ แผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ และการสร้างรายงานผลการสำรวจ

ส่วนที่ 3 การจัดการข้อมูล ได้แก่ การจัดการระดับโปรแกรมประยุกต์และการจัดการระดับข้อมูล

2.5.4 ความแตกต่างระหว่างการสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิมและการสำรวจด้วยสมาร์ทโฟน

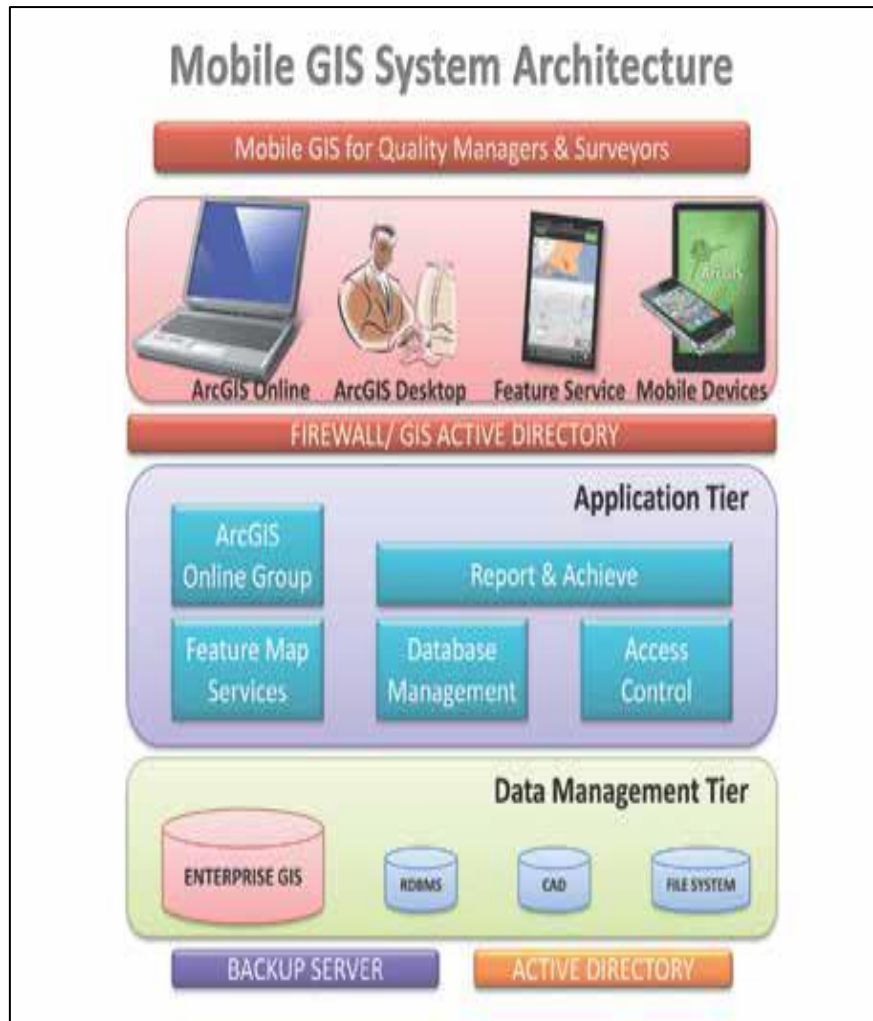
การสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิมและการสำรวจด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตสามารถลดปริมาณของงานเอกสารในงานก่อสร้างได้ (Sulbaran, 2013) โดยการจัดการของงานเอกสารมีวิวัฒนาการดังนี้

1) งานเอกสารแบบดั้งเดิม

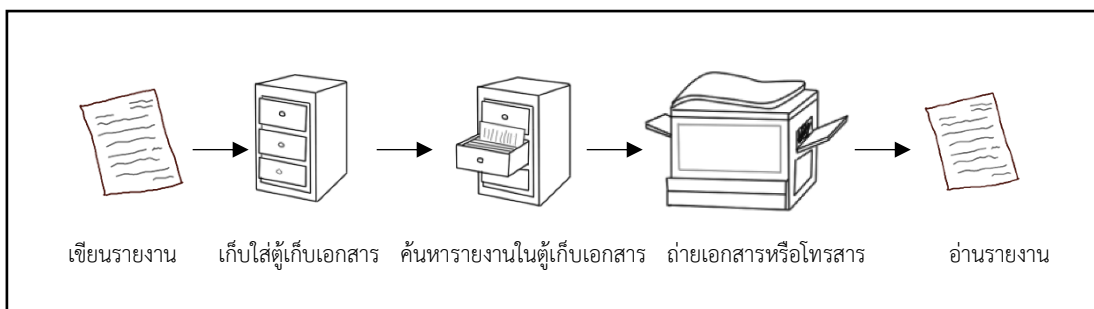
ในอดีต เอกสารจะอยู่ในรูปของกระดาษเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งต้องการพื้นที่ในการเก็บรักษา และเมื่อต้องการเอกสารที่เก็บรักษาไว้ ผู้ใช้จะต้องค้นหาจากแหล่งเก็บเอกสาร เช่น ตู้เก็บเอกสาร จากนั้นจึงนำไปถ่ายเอกสารหรือส่งโทรสารให้แก่ผู้รับสารที่ต้องการ ถึงเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนของการขอเอกสาร

2) งานเอกสารโดยใช้อินเทอร์เน็ต

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 เริ่มมีการใช้อินเทอร์เน็ตในงานก่อสร้างในการเก็บและส่งต่อข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น และพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ประเภท Web-base ให้เข้ากับประเภทงานต่างๆ เช่น การบริหารงานก่อสร้าง การคำนวณโครงสร้าง และการนำเสนองาน เป็นต้น ทั้งในคอมพิวเตอร์สำนักงาน คอมพิวเตอร์แบบพกพา และสมาร์ทโฟน



รูป 2.11 Mobile GIS System Architecture ของ ArcGIS (Ogra and Arora, 2012)



รูป 2.12 แสดงการเก็บเอกสารแบบดั้งเดิมในงานก่อสร้าง

ประเภทของโปรแกรมประยุกต์ประเภท Web-base เช่น การค้นหาข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ภาพถ่ายดิจิทัล เขียนแบบ คู่มือ จดบันทึก รายการสิ่งที่ต้องทำ ระบบดาวเทียม หรือ GPS สัญญาและข้อกำหนด ภาพถ่ายเคลื่อนไหว และสแกนข้อมูล เป็นต้น

ผลการสำรวจในงานวิจัยของ Tulio Sulbaran พบว่า (1) การทำงานเอกสารแบบดั้งเดิมมักใช้ในบริษัทก่อสร้างขนาดเล็ก (2) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นที่นิยมมากที่สุดคือ iPhone (3) ข้อจำกัดของโปรแกรมประยุกต์ประเภท Web-base คือค่าใช้จ่ายและความซับซ้อนของโปรแกรม และ (4) โปรแกรมประยุกต์ประเภท Web-base ที่นิยมคือ Microsoft SharePoint และ Google Drive

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Arora (2012) ยังได้แจกแจงขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างของวิธีดั้งเดิมและโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน ดังมีเนื้อหา ดังนี้

2.5.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ConOHM

2.5.5.1 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการไอโอเอส

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านเทคโนโลยีและความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธา รวมทั้งความรู้ทางด้านสถาปัตยกรรมในการออกแบบการแสดงผลและการใช้งานของโปรแกรมอีกด้วย หลังการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจนมั่นใจว่ามีประสิทธิภาพ มีความถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ และใช้งานง่ายหรือไม่ซับซ้อนจนเกินไป

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการไอโอเอส สามารถเขียนผ่านคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการไอเอสเอกซ์ เช่น iMac Macbook และ Macbook Air เป็นต้น การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Objective-C โดยตรงอาจไม่สะดวกมากนัก (Apple Corporation, 2017) จึงใช้โปรแกรมประยุกต์ XCode สำหรับการเขียน และ ใช้ iOS Simulator เพื่อจำลองการทำงานของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน

ตาราง 2.5 แสดงการเปรียบเทียบการสำรวจระหว่างวิธีดั้งเดิมกับการใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนก่อนการสำรวจ (ดัดแปลงจาก Ogra and Arora (2012))

| วิธีดั้งเดิม | โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน |
|--|--|
| ก่อนการสำรวจ | |
| จัดเตรียมเอกสารต่างๆ เช่น แบบบันทึกผลสำรวจ สำเนา Master Plan และสำเนา Site Plan เป็นต้น | โปรแกรมประยุกต์ ArcGIS มีการติดตั้งแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง |
| จัดเตรียมอุปกรณ์สำรวจและบันทึกข้อมูล เช่น กล้องวิดีโอ กล้องระดับ กล้องถ่ายรูป เครื่อง GPS | สามารถบันทึกข้อมูลในเอกสารการสำรวจด้วย GPS และกล้องถ่ายภาพบนสมาร์ตโฟน |
| สำรวจพื้นที่ก่อสร้าง | |
| เตรียมอุปกรณ์และเอกสาร เพื่อใช้อ้างอิงข้อมูลต่างๆ อาจต้องพกโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อติดต่อสื่อสาร รวมถึงกล้องถ่ายภาพ | เปิดดูเอกสารและแบบแปลนต่างๆ ที่บันทึกไว้ในสมาร์ตโฟน และสมาร์ตโฟนทั่วไปในปัจจุบันสามารถติดต่อสื่อสารและถ่ายภาพได้ |
| หลังการสำรวจ | |
| ข้อมูลการสำรวจจะถูกบันทึกอยู่ในตาราง Excel สำเนากระดาษ หรือบันทึกในแผ่น DVD | ข้อมูลการสำรวจจะถูกบันทึกอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม |
| วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำส่งรายงานการสำรวจ และข้อมูลภาพก่อนส่งให้ลูกค้า | สามารถถ่ายโอนข้อมูล รายงานการสำรวจ และข้อมูลภาพ ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบไร้สาย |

2.5.5.2 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมประยุกต์

ระบบปฏิบัติการไอโอเอสใช้ภาษา Objective-C เป็นสื่อกลางในการประมวลผล ซึ่งภาษา Objective-C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 โดยแบรด คอกซ์ (Brad Cox) และ ทอม เลฟ (Tom Love) ซึ่งมีรากฐานมาจากภาษา C (C Programming Language) มาต่อยอดและปรับปรุงเกี่ยวกับ Object-Oriented ของภาษา Smalltalk ให้ดียิ่งขึ้น และในปัจจุบันใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทแอปเปิล (Apple)

หรือระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) และ โอเอสเอกซ์ (OSX) เท่านั้น เช่น iPhone iPad และ Macbook เป็นต้น (Apple Corperation, 2017)

ไวยากรณ์ (Syntax) ของภาษา Objective-C คล้ายกับภาษา C ดังนี้

1) คำสั่ง (Statement)

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กถือว่าเป็นคนละตัวกัน และท้ายประโยคต้องจบด้วยเครื่องหมาย ; เสมอ

2) คอมเมนต์ (Comment)

หมายถึงข้อความที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการคอมไพล์ของโปรแกรม หรือเป็นข้อความที่แสดงรายละเอียดหรือความหมายของคำสั่งก่อนหน้า โดยมีวิธีเขียนด้วยสัญลักษณ์ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1: ใช้สัญลักษณ์ // นำหน้าข้อความ

แบบที่ 2: ใช้สัญลักษณ์ /* นำหน้าข้อความ และ ใช้สัญลักษณ์ */ ต่อท้ายข้อความ

การเขียนคอมเมนต์มีความสำคัญมาก ทำให้ผู้เขียนหรือผู้อื่นเข้าใจการเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น และง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขอีกด้วย

3) เรียกใช้งาน (Import)

การเรียกใช้งานโปรแกรมหรือข้อมูลทั้งที่เขียนขึ้นเองและไม่ได้เขียนขึ้นเองมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมหลัก เช่น การเรียกใช้ข้อมูลเพื่อสร้างวัตถุพื้นฐานของโปรแกรม และ การเรียกใช้แผนที่จาก Map Kit เป็นต้น

```
#import <UIKit/UIKit.h>

#import <MapKit/MapKit.h>
```

รูป 2.13 แสดงการเขียนคำสั่งเรียกใช้งานแผนที่จาก Map Kit (Apple Corperation, 2017)

4) ฟังก์ชัน (Function)

การเขียนโปรแกรมประกอบด้วยหลายฟังก์ชัน และจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันหลัก (Main Function) โดยโปรแกรมจะเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันหลักก่อนเป็นอันดับแรก

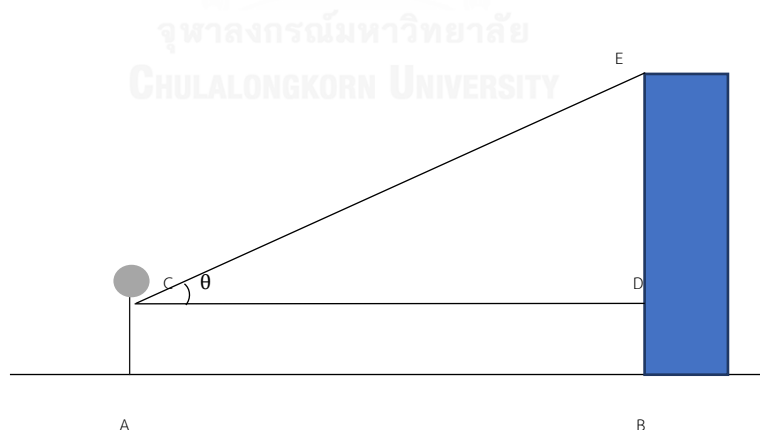
2.5.5.3 แนวความคิดเรื่องการสำรวจในแนวดิ่งโดยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต ConOHM

2.5.5.3.1 เครื่องมือ

สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตที่มีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) ตัวรับสัญญาณวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope Sensor) ตัวรับสัญญาณวัดความกดอากาศ (Barometric Sensor) และตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor)

2.5.5.3.2 วิธีปฏิบัติ

- 1) วัดมุมเงยจากยอดของสิ่งที่ต้องการวัด (θ)
- 2) คำนวณหาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดโดยมีหลักการดังนี้



รูป 2.14 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งโดย ConOHM

2.1) คำนวณระยะทางจากผู้วัดถึงสิ่งที่ต้องการวัด (CD)

จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) ของจุด 2

2.2) คำนวณความสูง DE โดยทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส

ระดับความสูงจุด D มีค่าเท่ากับระดับความสูงจุด C ซึ่งหาได้โดยตัวรับสัญญาณวัดความดัน และระดับความสูงจุด B หาได้โดยระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

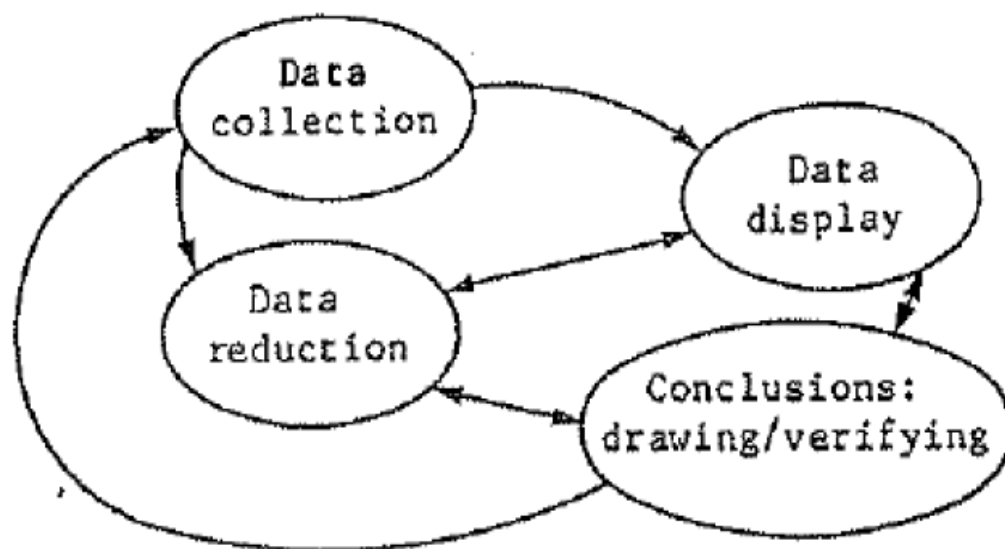
การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data Analysis) คือ การวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อความมากกว่าแบบตัวเลขที่นับได้ ซึ่ง Miles and Huberman (1994) ได้ให้ความเห็นว่าเป็นรูปแบบการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมกับปัญหาในการทำงานจริงที่จำเป็นต้องใช้ความรู้จากประสบการณ์ในการแก้ปัญหา ซึ่งการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลในเชิงคุณภาพมานั้น จำเป็นต้องมีการทำงานทั้งหมด 3 ส่วน เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือและยอมรับได้ ได้แก่ 1) การตัดทอนข้อมูล (Data Reduction) 2) การแสดงผล (Data Display) และ 3) การสรุปผลและสอบถามความถูกต้อง (Conclusion and Verification)

การตัดทอนข้อมูล คือ การจับกลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมาก เช่น บทสัมภาษณ์ รายงาน เป็นต้น ให้เหลือเป็นเพียงใจความสำคัญที่ซ่อนอยู่ในกลุ่มของข้อมูลนั้น

การแสดงผล คือ การนำเสนอข้อมูลมาจัดเรียงให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละข้อมูล เพื่อนำไปสู่การสรุปผลต่อไป เนื่องจากหากมีข้อมูลที่ใกล้เคียงกันจำนวนมาก จะทำให้การสรุปผลสามารถไขว้เขวและนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ โดยมีหลักการหลายวิธีที่สามารถทำได้ เช่น การใช้ตาราง (Tabular Method) หรือ แผนภูมิ (Graph) เป็นต้น

การสรุปผลและสอบถามความถูกต้อง หมายถึง การที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ของการสอบถามข้อมูลออกมาจากกลุ่มข้อมูลที่ถูกลดทอนและแสดงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว อย่างไรก็ตาม ในการทำวิจัยจริงๆ นั้น แม้จะได้ทำตามขั้นตอนต่างๆ ครบถ้วน ก็ไม่ได้แปลว่าจะได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือทันที เนื่องจากในบางครั้ง การตัดทอนข้อมูลหรือการแสดงผลข้อมูลอาจยังทำได้ไม่ดี ทำให้ใจความสำคัญที่ซ่อนอยู่ในบทสัมภาษณ์หรือรายงานไม่ครบถ้วน และไม่สามารถสรุปใจความสำคัญได้ จึงทำให้จำเป็นต้อง

ย้อนกลับไปทำขั้นตอนการตัดทอนข้อมูลเพิ่มเติม โดยการดึงเอาข้อมูลที่ถูกตัดไปแล้วกลับมาวิเคราะห์ใหม่ว่าข้อมูลนั้นยังมีความสำคัญอยู่หรือไม่ หากมีความสำคัญก็อาจต้องนำกลับมาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลอื่นๆ ที่ได้ถูกตัดทอนเก็บไว้ก่อนหน้านี้ รวมไปถึงอาจต้องเลือกการนำเสนอข้อมูลใหม่ในกรณีที่การนำเสนอข้อมูลนั้นไม่เหมาะสมกับรูปแบบการแสดงผลข้อมูล สำหรับรูปภาพสรุปความเชื่อมโยงได้ถูกแสดงไว้ที่รูป 2.15



รูป 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Miles and Huberman, 1994)

2.7 มาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Scale)

แบบมาตราส่วนตามแบบของลิเคิร์ต คือ เครื่องมือสำหรับชี้วัดความรู้สึกของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยปกติควรมีค่าอยู่ที่ประมาณ 5-7 ตัวเลือก โดยค่าตัวเลือกยิ่งมาก จะยิ่งแสดงถึงความรู้สึกที่เห็นด้วยหรือรับรองต่อคำถามที่ถูกถาม ในทางกลับกัน หากผู้ตอบแบบสอบถามเลือกที่จะให้คะแนนน้อยกับคำถามข้อใด แสดงว่าผู้ตอบแบบสอบถามรู้สึกไม่เห็นด้วยหรือรู้สึกขัดใจกับคำถามในข้อนั้นๆ โดยส่วนใหญ่จะแบ่งอันตรภาคขึ้นออกเป็น 5 หรือ 7 ส่วน เพื่อแสดงถึงความรู้สึกโดยรวมของกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามด้วยค่าเฉลี่ยของคำตอบในคำถามแต่ละข้อ เช่น ถ้าค่าเฉลี่ยของคำตอบของคำถามๆหนึ่ง มีค่าเท่ากับ 4.5 จากคะแนนเต็ม 5 แสดงว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้สึกยินดีหรือเห็นด้วยกับคำถามข้อนั้นๆ เป็นต้น (Likert, 1932)

2.8 ทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem)

ทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลาง กล่าวว่า เมื่อจำนวนของตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด ซึ่งโดยปกติแล้วจำนวนของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเพื่อให้สามารถอ้างถึงทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลางได้จะอยู่ที่อย่างน้อย 30 ตัวอย่าง เพื่อให้กราฟของกลุ่มตัวอย่างนั้นมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และไม่จำเป็นต้องสนใจถึงขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากมีการแจกแจงเป็นปกติเหมือนกับการหาค่าเฉลี่ยของประชากรนั้นๆ แล้ว (ชุตินา, 2545)

2.9 สรุป

ตามที่ได้กล่าวไปในบทที่ 1 และ 2 ก่อนหน้านี้ การสำรวจในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วและความสะดวก ซึ่งทั้งสองเรื่องนี้เป็นอุปสรรคหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสำรวจ โดยเฉพาะในขั้นตอนของการก่อสร้างและอาจส่งผลให้การทำงานในขั้นตอนต่อไปผิดพลาด เช่น การประมาณราคา การวางแผนทำงาน รวมไปถึงการวางแผนสถานที่ก่อสร้าง เป็นต้น

จากงานวิจัยจะพบว่าเรื่องของการใช้ข้อมูล GIS ไม่ใช่เรื่องใหม่ในวงการก่อสร้าง แต่อย่างไรก็ดี การประยุกต์ใช้ในปัจจุบันยังไม่สามารถอำนวยความสะดวกให้กับการสำรวจจริงวัดได้มากพอ เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆ อย่างในการใช้โปรแกรมประยุกต์ เช่น ไม่สามารถใช้ในระยะไกลได้ ไม่สามารถใช้ได้หากไม่สามารถมองเห็นความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดตลอดแนวตั้ง ไม่สามารถสร้างรายงานที่เป็นรูปแบบได้ เป็นต้น ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถช่วยในการทำงานให้สามารถทำได้ดีกว่าเดิม รวดเร็วกว่าเดิม และสะดวกในการใช้มากกว่าเดิม

เนื่องจากสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบันมีระบบปฏิบัติการหลายชนิดที่รองรับ จึงทำให้ต้องเลือกระบบปฏิบัติการชนิดใดชนิดหนึ่งในการพัฒนา ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าผู้ใช้โปรแกรมประยุกต์ด้านการสำรวจมีการใช้งานสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในเครือของ Apple มากกว่า (iphone และ ipad) จึงทำให้งานวิจัยฉบับนี้เลือกที่จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการไอโอเอสที่เป็นระบบปฏิบัติการของเครือ Apple

การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในงานก่อสร้างเป็นงานที่ต้องใช้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน การเก็บข้อมูลจึงควรเก็บข้อมูลแบบคุณภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานมากที่สุด (Miles and Huberman, 1994) โดยการเก็บข้อมูลจำเป็นต้องมีการสัมภาษณ์ผู้มีความรู้และประสบการณ์ในการเก็บข้อมูลสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด

การสอบถามข้อมูลต่างๆ ที่ไม่ได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จะใช้มาตรวัดลิเคิร์ตในการจัดเก็บข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของคะแนน 1-5 คะแนน ซึ่งแทนความคิดเห็นต่อคำถามต่างๆ ที่สอบถามผู้มีประสบการณ์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บมาด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย หากความคิดเห็นของผู้มีประสบการณ์โดยรวมมีค่ามากกว่า 4 ซึ่งแปลว่าเห็นด้วย จะถือว่าได้รับการยอมรับจากผู้มีประสบการณ์ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จึงจะหาค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของข้อมูลได้ ซึ่งทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลางได้อธิบายว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างใดๆ ที่จะใช้แทนข้อมูลของประชากรได้ จะต้องมีย่านไม่น้อยกว่า 30 จึงจะกระจายตัวแบบการแจกแจงปกติได้



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้ประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยต่างๆ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) บทนำ 2) ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้อีก 11 หัวข้อย่อยตามลำดับการทำวิจัย ได้แก่ 3.1) การศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างในขั้นต้นของการก่อสร้าง 3.2) การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยต่างๆ 3.3) สอบถามและสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ 3.4) ศึกษาและเก็บข้อมูลการรังวัดด้วยเครื่องมือที่มีการใช้ในปัจจุบัน 3.5) วางแผนผังการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ ConOHM 3.6) นำเสนอการรังวัดในรูปแบบต่างๆ 3.7) พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ 3.8) ทดสอบความแม่นยำของระบบ 3.9) เปรียบเทียบการทำงานระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่เสนอ 3.10) การทดสอบโปรแกรมประยุกต์เพื่อให้ทราบถึงผลตอบรับจากผู้ใช้งานจริง และ 3.11) สรุปผลการทดสอบและข้อจำกัดต่างๆ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานทางด้านการสำรวจสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้นของการก่อสร้าง เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของโครงการก่อสร้างได้มากขึ้น รวมไปถึงเทคโนโลยีและโปรแกรมประยุกต์ที่มีการใช้งานเพื่อสนับสนุนการทำงาน ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- ความสำคัญของการเก็บข้อมูลสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้น
- ขั้นตอนในการทำงาน
- เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันที่สามารถสนับสนุนการทำงานสำรวจพื้นที่ก่อสร้างในขั้นต้น
- ผลสำรวจและงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตในงานสำรวจ

3.2.2 ศึกษาหลักการทำงานวิจัย เช่น การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ประมวลผล รวมไปถึงการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

3.2.3 สอบถามและสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ถึงหลักการทำงานจริง รวมไปถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในขั้นต้นของโครงการก่อสร้าง

ในขั้นตอนนี้ได้ใช้การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ ขั้นตอนการทำงาน ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน วัสดุอุปกรณ์ รวมไปถึงปัญหาที่พบในการทำงานจริง แล้วนำเข้าสู่การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data Analysis) ด้วยวิธีการใช้ตารางแจกแจงความถี่ ที่สามารถแสดงถึงปัจจัยหรือวิธีการที่ผู้มีประสบการณ์แต่ละท่านให้ความสนใจ โดยจะคัดเลือกปัจจัยหรือวิธีการที่ผ่านความเห็นชอบจากกลุ่มผู้มีประสบการณ์ ถ้าหากมีความถี่ที่ปรากฏในการสัมภาษณ์กับกลุ่มผู้มีประสบการณ์มากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนผู้มีประสบการณ์ จะถือว่าปัจจัยหรือขั้นตอนการทำงานนั้นเป็นที่ยอมรับจากกลุ่มผู้มีประสบการณ์ว่ามีความสำคัญ และถูกนำไปพิจารณาต่อในขั้นตอนการทำงานต่อไป

3.2.4 ศึกษาและทดลองเก็บข้อมูลการรังวัดด้วยเครื่องมือต่างๆ ในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี ได้แก่ สายวัด เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ และโปรแกรมประยุกต์ โดยทดสอบกับตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่างที่มีความสูงแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างและความสามารถของแต่ละวิธี

3.2.5 เมื่อทราบถึงขั้นตอนการทำงาน ปัจจัยที่ต้องสนใจ ปัญหาที่ส่งผลกับการทำงานสำรวจสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้น และข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่สนับสนุนการรังวัดในปัจจุบันแล้ว เนื้อหาต่างๆ เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบการทำงานและการแสดงผลของโปรแกรมประยุกต์ โดยมีหลักการทำงานคร่าวๆ ดังรูป 3.1

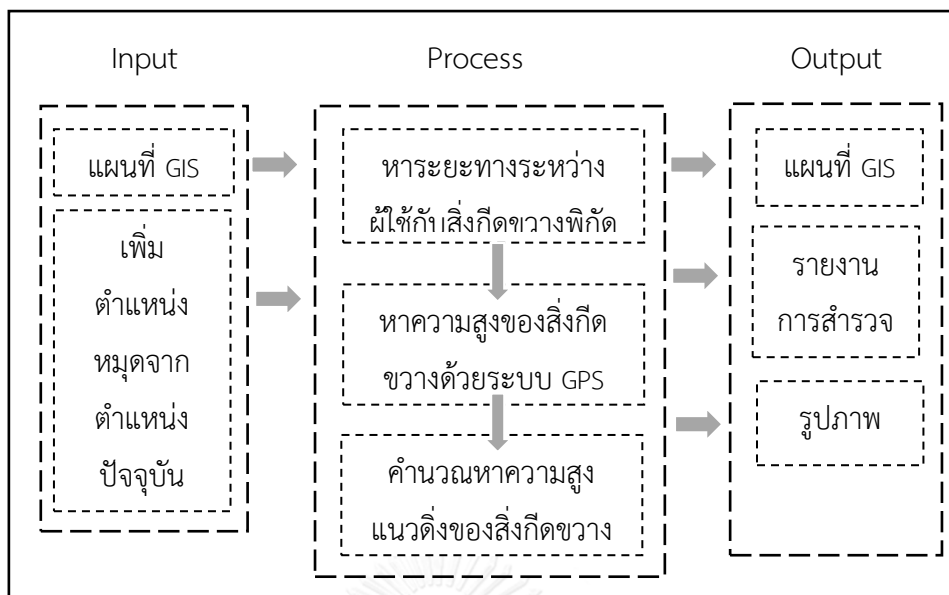
3.2.6 นำเสนอการรังวัดในรูปแบบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ แบ่งเป็น 7 กรณี โดยมีความสูงระหว่างตัวผู้ใช้และสิ่งที่ต้องการวัด รวมไปถึงมุมก้มหรือเงยในการรังวัด เป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับโปรแกรมประยุกต์ว่าจะเลือกใช้สูตรการคำนวณใดมารองรับการทำงานในแต่ละกรณี

3.2.7 พัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวัดความสูงและตำแหน่งของสิ่งต่างๆ เพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการทำงานในขั้นต้นของการวางแผนการก่อสร้าง

3.2.7.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายในงานวิจัยนี้ คือ คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการโอเอสเอกซ์ (OSX) ได้แก่ iMac MacBook และ MacBook Air เป็นต้น



รูป 3.1 แสดงการทำงานของโปรแกรมประยุกต์

2) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับหน่วยประมวลผลกลาง

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับหน่วยประมวลผลกลางในงานวิจัยนี้ คือ สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส ได้แก่ iPhone iPad และ iPod Touch เป็นต้น

3.2.7.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

โปรแกรมประยุกต์ Xcode สำหรับการพัฒนา และ ใช้ iOS Simulator เพื่อจำลองการทำงานของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต

3.2.7.3 ภาษาคอมพิวเตอร์

ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส คือ ภาษา Objective-C

โดยเมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ConOHM จนสามารถรันวัดความสูงได้แล้ว จะมีการทดสอบเครื่องมือว่าสูตรที่ใช้นั้นมีความถูกต้อง โดยหากพบข้อผิดพลาดภายในสูตร จะต้องทำการปรับแก้ค่าภายในสูตร เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความจริงมากขึ้น

3.2.8 ทดสอบความแม่นยำของระบบ เพื่อปรับแก้ให้มีความถูกต้องสามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้

การทดสอบความแม่นยำจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ทำการทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม และช่วงที่ 2 ทำการทดสอบความแม่นยำของการสำรวจทั้งแนวราบ และแนวตั้ง

1) การทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียมทำได้โดยเปรียบเทียบผลของข้อมูลพิกัดจุดทั้งแบบตำแหน่งปัจจุบัน (Current Position) และแบบปักหมุด (Pin Point) ระหว่างการใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน การใช้โปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์แบบพกพา การใช้กล้องธีโอโดไลต์ และตำแหน่งของหมุดควบคุม

ตาราง 3.1 แสดงตัวอย่างตารางผลการวัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุมโดยใช้โปรแกรมประยุกต์

| ครั้งที่ | พิกัด | | | |
|----------|---------|-----|----------|-----|
| | ละติจูด | | ลองจิจูด | |
| | DD | DMS | DD | DMS |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| เฉลี่ย | | | | |

ตาราง 3.2 แสดงผลตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุม CU 09 กับค่าพิกัดที่ได้จากการวัดโดยโปรแกรมประยุกต์

| ครั้งที่ | พิกัด | | ความคลาดเคลื่อน | |
|----------|---------|----------|-----------------|----------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ละติจูด | ลองจิจูด |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| เฉลี่ย | | | | |

2) การทดสอบความแม่นยำของการหาค่าความสูง

การทดสอบจัดทำโดยการรังวัดด้วยโปรแกรมประยุกต์ ConOHM แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ สายวัด เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ และโปรแกรมประยุกต์ และทำการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ ConOHM กับเครื่องมือรังวัดอื่นๆ

เมื่อการเปรียบเทียบแล้วเสร็จ จึงทำการรังวัดความสูงอาคารจำนวน 5 อาคาร อาคารละ 3 จุด จำนวนจุดละ 10 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 30 ครั้งต่ออาคาร เพื่อให้ได้ค่าความสูงเฉลี่ยที่เป็น การแจกแจงปกติ สามารถใช้เป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรได้ตามทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ ศูนย์กลาง และนำมาใช้วิเคราะห์ถึงระยะทำการของโปรแกรมประยุกต์รวมถึงความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือในการวัดของโปรแกรมประยุกต์

ตาราง 3.3 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกการวัดความสูงของอาคารด้วยโปรแกรมประยุกต์ ConOHM

| ตำแหน่งที่ 1 | ตำแหน่งที่ยืน | | | ตำแหน่งเป้าหมาย | | | ระยะทาง (เมตร) | มุมยอด (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) |
|--------------|---------------|---------|----------|------------------------|---------|----------|-------------------|------------------|----------------------------|
| | ครั้งที่ | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | | | |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | |

3.2.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการสำรวจแบบวิธีดั้งเดิมและการสำรวจโดยใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนในเรื่องของวิธีดำเนินการสำรวจ ทรัพยากรที่ใช้ในงานสำรวจ ความแม่นยำ และระยะเวลาที่ใช้ในกิจกรรมนั้นๆ เพื่อให้เห็นถึงจุดเด่นและจุดด้อยระหว่างการรังวัดด้วยวิธีดั้งเดิมและโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

3.2.10 ทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยวิศวกรโยธา เช่น วิศวกรสนาม วิศวกรสำรวจ วิศวกรที่ปรึกษา และหัวหน้าโครงการ เป็นต้น จำนวน 30 คน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติเป็นแบบการแจกแจงปกติได้ และทำการประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 รายการประเมินด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์

ตอนที่ 2 รายการประเมินด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์

ตอนที่ 3 ด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์

โดยระดับความคิดเห็นแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรวัดลิเกิร์ต (Likert Scale)

5 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

1 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปรับปรุง

ระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้โปรแกรมประยุกต์สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ สถิติพรรณนาจากแบบสัมภาษณ์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดทำเกณฑ์ในการวิเคราะห์และประเมินผล โดยใช้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอ้างอิงกับเกณฑ์เดียวกันกับข้อมูลด้านบน คือ ยิ่งเข้าใกล้ 5 มากเท่าใด จะถือว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจมาก โดยเกณฑ์ประเมินทุกเกณฑ์จะต้องได้รับความพึงพอใจมากกว่า หรือเท่ากับ 4 ซึ่งหมายถึงความพึงพอใจทางด้านติดตั้งเกณฑ์ด้านบน ถึงจะสามารถสรุปได้ว่าได้รับการยอมรับจากกลุ่มวิศวกรผู้ใช้งานได้

3.2.11 สรุปผลการทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทาง ให้แก่ผู้สนใจหรือผู้ที่ต้องการศึกษาต่อไป

3.3 สรุป

ในบทที่ 3 เป็นบทที่กล่าวถึงขั้นตอนของการทำการวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษาและรวบรวม ข้อมูลในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาขั้นตอนการทำงานในขั้นต้นของการก่อสร้างและโปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัด จากนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับการทำงานจริง จึงต้องมีการ สัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์เพื่อสอบถามถึงขั้นตอนการทำงาน ปัจจัย และปัญหาของการทำงานใน ขั้นต้นของการก่อสร้าง เมื่อได้ข้อมูลในการทำงานจริงครบถ้วนแล้ว จึงนำเอาข้อมูลมาประเมินด้วย ตารางแจกแจงความถี่ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานที่อาศัย ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานเป็นหลัก โดยหากขั้นตอนการทำงาน ปัจจัย หรือปัญหาใดๆ มี ค่าความถี่ปรากฏเกินครึ่งหนึ่งของการสัมภาษณ์กลุ่มผู้มีประสบการณ์ จะถูกนำมาใช้เป็นความต้องการ

นอกจากนี้ยังมีการทดสอบเครื่องมือต่างๆ ที่มีการใช้เพื่อสนับสนุนการทำงานสำรวจสถานที่ ก่อสร้างในขั้นต้นในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละเครื่องมือ ก่อนจะนำผลการ ทดสอบของโปรแกรมประยุกต์มาเปรียบเทียบต่อไป

พื้นฐานของการออกแบบและจัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อสนับสนุนการทำงานในขั้นต้นของ การก่อสร้างที่มีชื่อว่า ConOHM โดยใช้ระบบปฏิบัติการ Apple เป็นฐานในการพัฒนา โดยการ คำนวณในโปรแกรมประยุกต์จะแบ่งออกเป็น 7 กรณี ขึ้นกับปัจจัยเรื่องความแตกต่างของความสูง ระหว่างตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่และตำแหน่งของสิ่งที่สนใจ ซึ่งระบบจะเลือกใช้สูตรให้ตรงกับกรณีที่รังวัด

โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ เมื่อทำการพัฒนาระบบจนสามารถรันวัดความสูงได้แล้ว จะมีการทดสอบสูตรเพื่อตรวจสอบว่าสูตรและเครื่องมือที่ใช้ มีความผิดพลาดหรือไม่ และทำการปรับแก้

เมื่อจัดทำโปรแกรมประยุกต์เรียบร้อยแล้ว จึงนำไปตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการรันวัดด้วยเครื่องมืออื่นๆ และทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ConOHM เพื่อหาถึงระยะที่เหมาะสมกับการรันวัด รวมไปถึงความคลาดเคลื่อนภายในระบบ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้อาคารสูงเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ แล้วเปรียบเทียบขั้นตอน กระบวนการ ทรัพยากรที่ใช้กับการใช้กล้องรีโอโดไลท์ที่เป็นอุปกรณ์ทำงานแบบดั้งเดิม เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดีข้อเสียของทั้งสองวิธี จากนั้นจึงนำโปรแกรมประยุกต์ไปให้กลุ่มตัวอย่างวิศวกรต่างๆ ใช้เพื่อสอบถามถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ว่าควรมีการพัฒนาไปยังทิศทางใด ซึ่งข้อคิดเห็นข้อใดมีค่าเฉลี่ยที่กลุ่มวิศวกรให้คะแนนตามมาตรวัดลิเกิร์ตเกินกว่า 4 ขึ้นไป จะถือว่ากลุ่มวิศวกรผู้ใช้งานให้การยอมรับในหัวข้อชี้วัดเหล่านั้น สุดท้ายคือการสรุปปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ



บทที่ 4

การสำรวจและเก็บข้อมูลขั้นต้น

4.1 บทนำ

ภายในบทนี้จะกล่าวถึงการสัมภาษณ์ข้อมูลจากผู้มีประสบการณ์ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นก่อนการประมูลงานหรือก่อนการประมาณราคางานก่อสร้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ ทำให้ได้ข้อสรุปในเรื่องขั้นตอนการทำงานในปัจจุบัน และปัญหาที่พบจากการทำงาน รวมถึงแนวทางแก้ไขและคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ เพื่อนำไปพัฒนาเครื่องมือที่มีประโยชน์และเหมาะสมต่อการทำงาน โดยมีหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้ 1) บทนำ 2) การทำงานสำรวจในขั้นต้นของการทำงานก่อสร้าง 3) ขั้นตอนการเก็บข้อมูลการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นจากสถานที่จริง 4) ปัญหาที่พบในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นในปัจจุบัน 5) แนวทางการแก้ปัญหา และ 6) สรุป

4.2 การทำงานสำรวจในขั้นต้นของการทำงานก่อสร้าง

การทำงานด้านก่อสร้างหรือวิศวกรรมโยธา นั้น ประสบการณ์การทำงานถือว่ามีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลค่อนข้างมาก ในขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น ผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานมากจะมีมุมมองต่อการสังเกต การเก็บข้อมูล และการบันทึกที่แตกต่างจากคนทั่วไป ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามความจริงในปัจจุบัน จึงจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานในขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นก่อนการประมูลงานหรือก่อนการประมาณราคางาน

ในการสอบถามผู้มีประสบการณ์แบ่งเป็นทั้งหมด 3 ขั้นตอน สำหรับขั้นตอนที่ 1 คือการตั้งคณะผู้มีประสบการณ์ โดยผู้มีประสบการณ์ทุกท่านที่ได้สัมภาษณ์เป็นวิศวกรโยธาที่มีการศึกษาระดับปริญญาตรีเป็นต้นไป รายละเอียดดังตาราง 4.1

ขั้นตอนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการก่อสร้าง และขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น แล้วนำข้อมูลมาประมวลผลถึงจุดรวมของแต่ละคน ดังเช่น งานวิจัยของ Saovana and Tongthong (2015) ที่ใช้ตารางช่วยในการแยกคำตอบออกเป็นหลายๆ คำตอบ ดังตาราง 4.2

จากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ถึงประเด็นต่างๆ ได้แก่ (1) ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อสร้าง (2) ขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น (3) ปัจจัยที่มีผลต่อการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น และ

(4) อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น โดยผลของปัจจัยต่างๆ ตาม 4 หัวข้อข้างต้นที่ผู้มีประสบการณ์กล่าวถึงแสดงดังตาราง 4.3 ถึง ตาราง 4.6

ตาราง 4.1 แสดงรายการรายละเอียดของผู้มีประสบการณ์ที่ให้สัมภาษณ์

| ลำดับ | ประเภทอุตสาหกรรม | การศึกษา | ตำแหน่ง | จำนวนโครงการที่สำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น |
|-------|-----------------------|-----------|-------------------------------|--|
| 1 | บริษัทรับเหมาก่อสร้าง | ปริญญาตรี | หัวหน้าแผนกวิศวกรโยธาสำนักงาน | 30+ |
| 2 | บริษัทอสังหาริมทรัพย์ | ปริญญาโท | วิศวกรภาคสนาม | 6 |
| 3 | บริษัทรับเหมาก่อสร้าง | ปริญญาโท | วิศวกรโยธาสำนักงาน | 2 |
| 4 | บริษัทรับเหมาก่อสร้าง | ปริญญาโท | วิศวกรโยธาสำนักงาน | 4 |
| 5 | บริษัทควบคุมงาน | ปริญญาตรี | วิศวกรโครงการ | 8 |
| 6 | บริษัทออกแบบ | ปริญญาตรี | วิศวกรผู้ออกแบบ | 5 |
| 7 | บริษัทออกแบบ | ปริญญาโท | วิศวกรผู้ออกแบบ | 3 |
| 8 | บริษัทควบคุมงาน | ปริญญาตรี | วิศวกรโครงการ | 4 |
| 9 | บริษัทรัฐวิสาหกิจ | ปริญญาโท | วิศวกรโครงการ | 10 |
| 10 | บริษัทรับเหมาก่อสร้าง | ปริญญาตรี | วิศวกรโยธาสำนักงาน | 4 |

ตาราง 4.2 แสดงตัวอย่างปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับตำแหน่งที่ควรวางสำนักงานสนามในสถานที่ก่อสร้าง (Saovana and Tongthong, 2015)

| | In the front of the site | Places where they don't interfere with other works | Engineers can come to check the work conveniently | Engineers can see all around | Move into the building when the building is ready |
|-----------|--------------------------|--|---|------------------------------|---|
| Frequency | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 |

ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลจากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ทั้ง 4 หัวข้อ ดังนี้

1) ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้างที่ผู้มีประสบการณ์แต่ละท่านที่มีความคล้ายคลึงกันและถูกกล่าวถึงมากกว่า 5 ท่าน ได้แก่ การสำรวจสาธารณูปโภค เช่น ไฟฟ้า น้ำประปา และโทรศัพท์ เป็นต้น การสำรวจเส้นทางการขนส่งวัสดุ การสำรวจอาคารในพื้นที่ก่อสร้าง การสำรวจอาคารนอกพื้นที่บริเวณใกล้เคียง การสำรวจสะพานและอุโมงค์ระหว่างทางการเข้าพื้นที่ก่อสร้าง และอุปสรรคอื่นๆ ต่างๆ ในพื้นที่ก่อสร้างด้วย โดยเฉพาะอุปสรรคที่ไม่สามารถหาข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษรได้ เช่น เสไฟฟ้า และต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น

2) ขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นที่ผู้มีประสบการณ์แต่ละท่านมีความคล้ายคลึงกันและถูกกล่าวถึงมากกว่า 5 ท่าน ได้แก่ การศึกษารายละเอียดของสิ่งปลูกสร้างที่ทำการก่อสร้าง การสำรวจสิ่งปลูกสร้างเดิม การสำรวจตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้างที่จะทำการก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้าง และการจัดทำรายการอุปสรรคที่มีผลต่อการทำงาน

3) ปัจจัยที่มีผลต่อการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นที่ผู้มีประสบการณ์แต่ละท่านที่มีความคล้ายคลึงกันและถูกกล่าวถึงมากกว่า 5 ท่าน ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ ลักษณะของสถานที่ก่อสร้าง อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ข้อจำกัดของผู้ว่าจ้างและการอำนวยความสะดวกระหว่างการสำรวจพื้นที่ และการจัดบันทึกรวมถึงการทำรายงานการสำรวจที่มีคุณภาพ

4) อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นที่ผู้มีประสบการณ์แต่ละท่านที่มีความคล้ายคลึงกันและถูกกล่าวถึงมากกว่า 5 ท่าน ได้แก่ กล้องถ่ายรูป โปรแกรมประยุกต์สำหรับสมาร์ตโฟน สมุด ปากกาหรือดินสอ เป็นต้น ผู้มีประสบการณ์บางท่านที่มีความสามารถทางด้านเทคโนโลยีได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ที่สามารถดึงข้อมูลแผนที่จากดาวเทียมมาเป็นภาพประกอบการเก็บข้อมูลอีกด้วย

ตาราง 4.3 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องสำรวจในพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

| | ระยะเวลา เก็บข้อมูล | สภาพอากาศ | ลักษณะของ สถานที่ก่อสร้าง | อุปกรณ์และ เครื่องมือ เครื่องใช้ | การเข้าถึง สถานที่ก่อสร้าง | ข้อจำกัดของผู้ ว่าจ้าง | จำนวน ผู้สำรวจ | การจดบันทึก และทำรายงาน การสำรวจ |
|---------|------------------------|-----------|------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------|-------------------|--|
| ความถี่ | 7 | 4 | 10 | 8 | 6 | 9 | 2 | 9 |

ตาราง 4.4 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับขั้นตอนการสำรวจพื้นที่

| | ศึกษารายละเอียดของสิ่งปลูก สร้าง | ศึกษาระเบียง รายละเอียด เจ้าของงาน | สำรวจสิ่งปลูก สร้างเดิม | สำรวจ ตำแหน่งของ สิ่งปลูกสร้างที่ จะทำการ ก่อสร้าง | สำรวจสภาพ ดิน | สำรวจสภาพ ถนน | สำรวจ สาธารณูปโภค | จัดทำรายการอุปสรรคที่ ส่งผลกระทบต่อการทำงาน |
|---------|-------------------------------------|--|----------------------------|--|------------------|------------------|----------------------|--|
| ความถี่ | 10 | 5 | 9 | 10 | 4 | 3 | 9 | 10 |

ตาราง 4.5 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างชั้นต้น

| | สาธารณูปโภค | คุณภาพและขนาดของถนน | เส้นทางการขนส่งวัสดุ | เส้นทางการเข้าถึงพื้นที่ | อาคารในพื้นที่ | อาคารนอกพื้นที่บริเวณใกล้เคียง | เสาไฟ | สะพานและอุโมงค์ | ต้นไม้ | บึงและแอ่งน้ำ |
|---------|-------------|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------|--------------------------------|-------|-----------------|--------|---------------|
| ความถี่ | 8 | 4 | 6 | 4 | 9 | 9 | 5 | 5 | 9 | 6 |

ตาราง 4.6 แสดงปริมาณความถี่ของคำตอบที่ได้รับ เมื่อถามเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างชั้นต้น

| | กล้องถ่ายรูป | สมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต | กระดาษหรือสมุด | ปากกาหรือดินสอ | กล้องสำรวจ | เข็มทิศ | นาฬิกา | เครื่องอัดเสียง |
|---------|--------------|----------------------|----------------|----------------|------------|---------|--------|-----------------|
| ความถี่ | 10 | 8 | 10 | 10 | 3 | 1 | 3 | 5 |

สำหรับลักษณะของสถานที่ก่อสร้างที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้นส่งผลต่อการทำงาน ดังนี้

(1) กรณีที่พื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่เปิด

กรณีที่พื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่เปิด ได้แก่ พื้นที่ก่อสร้างที่ผู้สำรวจเจ้าของ หรือผู้ว่าจ้าง อนุญาตให้เข้ามาสำรวจพื้นที่ได้โดยจะต้องทำเรื่องขอเข้ามาสำรวจพื้นที่

(2) กรณีที่พื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ปิด

กรณีที่พื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ปิดซึ่งพบได้มากในปัจจุบัน เป็นกรณีที่ผู้ว่าจ้างจัดงานให้ ผู้ที่เกี่ยวข้องมาดูและสำรวจพื้นที่ ซึ่งมีตารางเวลาแน่นอน โดยผู้ว่าจ้างหรือเจ้าของงานอธิบาย เกี่ยวกับโครงการโดยสังเขป ได้แก่ ประเภทงาน ระยะเวลาโครงการ และผู้ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น จากนั้นผู้ว่าจ้างจะอนุญาตให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสำรวจพื้นที่ก่อสร้าง บริเวณของสิ่งปลูกสร้าง เส้นทาง การขนส่งวัสดุ ตำแหน่งของอุปสรรคหรือสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่แล้ว นอกจากนี้ผู้ว่าจ้างอาจมีความต้องการ พิเศษ เช่น ให้เก็บหรือถอนสิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่ก่อสร้าง เช่น ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้างที่ยังใช้งานอยู่ สิ่ง ปลูกสร้างที่คุณค่าทางจิตใจ หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น

4.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นจากสถานที่จริง

เพื่อให้เห็นภาพในการทำงานมากขึ้น จึงขอนำเสนอส่วนหนึ่งของประสบการณ์จากผู้มี ประสบการณ์ที่ได้ไปเก็บข้อมูลและสำรวจพื้นที่ก่อสร้าง พร้อมทั้งรูปภาพประกอบการอธิบาย โดย ประสบการณ์ทำงานนั้นคือการสำรวจไปสำรวจสถานที่ก่อสร้างที่เป็นแบบปิด คือ โครงการก่อสร้างท่า อากาศยานสุวรรณภูมิ ระยะ 2

ในขั้นแรก ผู้ว่าจ้างได้ส่งจดหมายเชิญเข้าร่วมการชี้แจงแบบให้แก่บริษัทที่ได้ซื้อแบบสำหรับ การประมูลไป โดยผู้ว่าจ้างจะทำการนัดหมายผู้ที่เกี่ยวข้องให้เข้าร่วมประชุม ณ วัน เวลา และสถานที่ ที่กำหนด

ภายในงานได้มีการนำเสนอข้อมูลของโครงการทั้งหมด และเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมได้ซักถาม ทำความเข้าใจ เมื่อจบงานในช่วงเช้าแล้ว เนื่องจากบางบริเวณในสนามบินสุวรรณภูมิเป็นสถานที่ปิด เช่น ลู่วิ่งของเครื่องบิน อุโมงค์ทางลอดเชื่อมอาคารระยะ 1 ที่สร้างเตรียมไว้แล้ว เป็นต้น จึงต้องมีการ แลกบัตรเพื่อติดไว้ที่หน้าอกให้สามารถเข้า-ออกสถานที่ได้



รูป 4.1 แสดงภาพบรรยากาศในงาน



รูป 4.2 แสดงบัตรที่แลกมา

จากนั้นผู้ว่าจ้างได้จัดเตรียมรถโดยสารปรับอากาศไว้อำนวยความสะดวกผู้เข้าร่วมการสำรวจสถานที่ก่อสร้างเพื่อเดินทางไปยังจุดต่างๆ ที่กำหนด เพราะสถานที่ก่อสร้างมีขนาดใหญ่ อันตราย และไม่อนุญาตให้ผู้ไม่เกี่ยวข้องเข้าไป



รูป 4.3 แสดงภาพรถปรับอากาศที่ผู้ว่าจ้างได้จัดไว้ให้

ในขั้นแรกหลังจากออกจากห้องประชุมชี้แจงแบบนั้น ผู้ว่าจ้างได้พาผู้เข้าร่วมมายังส่วนที่สูงที่สุดภายในอาคารผู้โดยสารของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเพื่อให้เห็นถึงภาพรวมของสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งในการชี้แจงเพิ่มเติมนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากเป็นที่กว้างและมีผู้เข้าร่วมฟังการชี้แจงเป็นจำนวนมาก จึงทำให้การกระจายเสียงของผู้ชี้แจงนั้นทำได้ไม่ครอบคลุมนัก นอกจากนี้เนื่องจากข้อมูลที่มีเป็นปริมาณมาก จึงทำให้ผู้เข้าร่วมต้องทำการจดบันทึกและถ่ายภาพไปพร้อมกัน ซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกสบาย และพื้นที่นั้นไม่เหมาะสมสำหรับการจดบันทึก อย่างไรก็ตาม ผู้เข้าร่วมบางส่วนได้ใช้สมาร์ทโฟนเข้ามาช่วยเหลือในการทำงาน เช่น การบันทึกภาพไปพร้อมกับการบันทึกเสียง ซึ่งช่วยให้เกิดความสะดวกสบายมากขึ้น



รูป 4.4 แสดงบรรยากาศการชี้แจงเพิ่มเติมและการใช้สมาร์ทโฟนของผู้เข้าร่วม

เมื่อการชี้แจงจบลง ผู้ชี้แจงได้พาผู้เข้าร่วมทุกคนขึ้นรถที่ได้จัดไว้อีกครั้ง เพื่อเข้าไปยังส่วนที่ต้องก่อสร้างจริง เนื่องจากเป็นสนามบินสุวรรณภูมิเป็นสถานที่ที่มีการตรวจสอบเพื่อใฝ่ระวังในเรื่องของความปลอดภัยสูง ทำให้ต้องมีการตรวจค้นสิ่งของของแต่ละบุคคลและรถที่เข้าไปยังพื้นที่ก่อสร้างอย่างละเอียด จึงทำให้ไม่สามารถพกพาสิ่งของไปได้มากนัก

เมื่อเข้าไปยังภายในท่าอากาศยานแล้ว ผู้ชี้แจงได้พาผู้เข้าร่วมไปยังบริเวณที่ต้องก่อสร้างอาคารผู้โดยสารอีกหนึ่งหลัง แต่เนื่องจากสถานที่ก่อสร้างอยู่ใกล้ลู่วิ่งของเครื่องบินมาก โดยเฉลี่ยมีเครื่องบินลงประมาณ 3 นาทีต่อลำ จึงทำให้เป็นอุปสรรคกับการสำรวจ และผู้ชี้แจงให้เวลาอย่างจำกัดในการเก็บข้อมูล จึงทำให้ไม่สามารถบันทึกข้อมูลที่จำเป็นได้อย่างครบถ้วน เช่น ความสูงของเครื่องบินที่ลงผ่านบริเวณที่ก่อสร้าง เนื่องจากต้องมีการขอ NOTAM (ประกาศเตือนถึงภัยที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อเครื่องบิน) ในการทำงานภายในท่าอากาศยาน ซึ่งระยะเวลาหมุนของปั่นจั่นอาจส่งผลได้



รูป 4.5 แสดงสถานที่ก่อสร้างที่อยู่ใกล้ลู่วิ่งของเครื่องบิน

ต่อมา ผู้ชี้แจงพาผู้เข้าร่วมมายังบริเวณอุโมงค์ที่ได้ถูกสร้างไว้เพื่อเชื่อมส่งผู้โดยสารจากระยะ 1 มายังระยะที่ 2 ซึ่งผู้เข้าร่วมต้องวัดระยะและตำแหน่งต่างๆ ภายในอุโมงค์ด้วยตัวเอง เช่น ท่อของระบบต่างๆ ความสูงของอุโมงค์ ส่วนของอุโมงค์ที่ชำรุด เป็นต้น

นอกจากผู้เข้าร่วมจะต้องจดบันทึกสิ่งต่างๆ ในความมืดที่ไม่ทราบตำแหน่งที่แท้จริงแล้ว ปริมาณอากาศและฝุ่นละอองภายในอุโมงค์ก็ยังเป็นอุปสรรคในการทำงาน ทำให้มีเวลาในการจดบันทึกข้อมูลได้น้อย



รูป 4.6 แสดงอุโมงค์เชื่อมส่งผู้โดยสาร



รูป 4.7 แสดงท่อของสายไฟและเครื่องมือต่างๆ

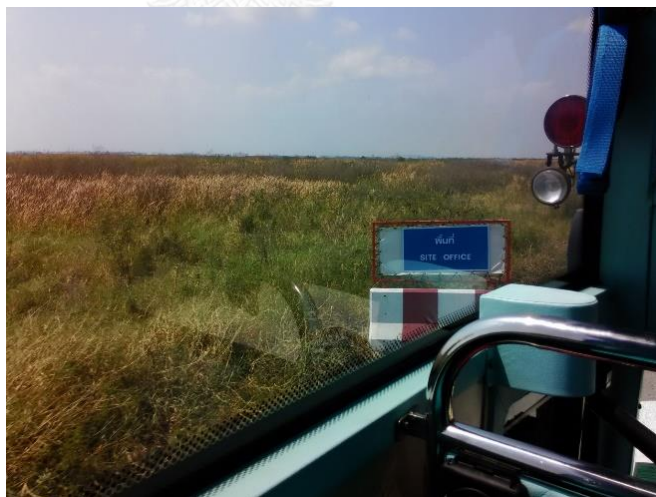


รูป 4.8 แสดงส่วนที่ชำรุดภายในอุโมงค์



รูป 4.9 แสดงบรรยากาศภายในอุโมงค์ที่มีฝุ่นละออง ทำให้ผู้เข้าร่วมต้องใส่หน้ากากไว้ตลอดเวลา

ภายหลังจากออกมาจากอุโมงค์แล้ว ผู้ชี้แจงได้พาผู้เข้าร่วมขึ้นรถไปยังบริเวณที่จะเป็นจุดก่อสร้างสาธารณูปโภคชั่วคราวต่างๆ เช่น สำนักงานชั่วคราว บริเวณที่เชื่อมสำหรับรับน้ำประปาเข้าสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งเป็นป่ารกชัฏ ไม่สามารถลงสำรวจได้โดยสะดวก ผู้ชี้แจงจึงให้ผู้เข้าร่วมอยู่ภายในรถแล้วขับผ่านไป ทำให้ไม่สามารถลงไปเก็บข้อมูลได้ ก่อนที่จะพากลับมาส่งยังที่สำนักงานที่ใช้ชี้แจงแบบ



รูป 4.10 แสดงบรรยากาศของสถานที่ที่ผู้ว่าจ้างให้เป็นที่ตั้งสำนักงานชั่วคราว

จะเห็นได้ว่า ด้วยข้อจำกัดต่างๆ ในการสำรวจสถานที่ก่อสร้างทำให้ผู้สำรวจไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ โดยสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การทำงานไม่สามารถมารังวัดเวลาอื่นๆ ได้ เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ไม่อนุญาตให้เข้า

2. สถานที่ไม่เอื้ออำนวยให้พนักงานเข้าไปเป็นจำนวนมาก
3. เวลาที่ใช้ในการสำรวจแต่ละจุดมีจำกัด
4. สถานที่ไม่เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลเป็นเวลานาน เช่น ลู่วิ่งของเครื่องบินและอุโมงค์ที่มีดและมีฝุ่นละอองมาก
5. สถานที่ส่งผลให้ไม่ทราบว่า ณ ขณะนั้น ตำแหน่งของผู้บันทึกและสิ่งที่ยากบันทึกอยู่ที่ตำแหน่งใด เช่น อุโมงค์ที่มีด และตำแหน่งของส่วนที่เสียหายในอุโมงค์
6. การรังวัดความสูงของสิ่งของมีผลต่อการเตรียมตัวทำงาน เช่น ความสูงของเครื่องบินตอปั่นจั้น ความสูงของอุโมงค์ที่ส่งผลต่อรถที่ทำการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ที่ทำงาน สถานที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่น ป่ารกชัฏ ผู้บันทึกจำเป็นต้องบันทึกแบบคร่าวๆ ด้วยข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ ทำให้ต้องใช้เวลาในการเรียบเรียงข้อมูล และจัดทำรายงานในรูปแบบที่ผู้อื่นสามารถเข้าใจได้

สำหรับการสำรวจงานก่อสร้างในสถานที่เปิดนั้น ยังคงมีปัญหาในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานเช่นกัน ดังตัวอย่างของบริษัทรับเหมาก่อสร้างงานภาครัฐบริษัทหนึ่งที่ได้รับการว่าจ้างให้ก่อสร้างโครงการทางพิเศษสายบางปะอิน-นครราชสีมา ได้มีการใช้กล้องติดกับเครื่องบินบังคับผ่านรีโมทคอนโทรล (Drone) มาช่วยในการสำรวจสถานที่ก่อสร้าง ทำให้เห็นภาพรวมของโครงการได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้ก็ยังไม่มีความชัดเจนมากนัก เช่น พิกัดตำแหน่งของต้นไม้และเสาไฟฟ้า แต่ละต้นที่อาจส่งผลต่อการทำงาน รวมไปถึงการตรวจสอบความสูงของอุปสรรคในเส้นทางลำเลียงวัสดุต่างๆ เช่น อุโมงค์ หรือสะพานลอย เป็นต้น



รูป 4.11 แสดงภาพถ่ายจากกล้องติดเครื่องบินบังคับ (Drone)

นอกจากนี้ ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในขั้นต้นของการก่อสร้างคือการวางแผนเตรียมสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งมักเป็นต้นทุนทางอ้อมของบริษัทรับเหมาก่อสร้าง การประมาณได้ใกล้เคียงความจริงมากกว่าจะทำให้บริษัทรับเหมาก่อสร้างแห่งนั้นมีความสามารถในการแข่งขันช่วงประมาณราคา และสามารถรับรู้ถึงค่าใช้จ่ายในช่วงต้นของการก่อสร้างได้ดีกว่า จากรูปตัวอย่างด้านล่างแสดงให้เห็นถึงสภาพป่ารกบนเนินซึ่งต้องมีการปรับพื้นที่ให้เครื่องจักรสามารถเข้าไปทำงานได้ ซึ่งหากบริษัทรับเหมาก่อสร้างสามารถประมาณค่าใช้จ่ายในการเตรียมสถานที่ก่อสร้างได้ ก็จะทำให้ได้ราคาที่ สามารถแข่งขันกับผู้ประมูลงานเจ้าอื่นๆ โดยไม่ต้องสูญเสียกำไรจากต้นทุนที่มองไม่เห็นเหล่านี้อีกด้วย



รูป 4.12 แสดงภาพสถานที่ก่อสร้างก่อนและหลังมีการปรับพื้นที่

ด้วยข้อจำกัดต่างๆ ที่กล่าวมานั้น ทำให้เห็นถึงความจำเป็นในปัจจุบันที่ว่า ยังไม่มีเครื่องมือเครื่องใช้ที่จะช่วยสนับสนุนการทำงานในส่วนนี้ โดยสามารถสรุปใจความสำคัญที่เครื่องมือเครื่องใช้จะเข้ามาช่วยสนับสนุนการทำงานรังวัดในขั้นต้นได้ ดังนี้

1. สามารถจดบันทึกตำแหน่งที่ต้องการบันทึกได้รวดเร็ว แม่นยำ ใช้อุปกรณ์น้อยพกพาสะดวก
2. หาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดได้อย่างรวดเร็ว และมีความถูกต้องระดับหนึ่งที่สามารถทำงานได้
3. สามารถสร้างรายงานที่สามารถนำไปใช้ต่อได้ทันที ไม่จำเป็นต้องเรียบเรียงข้อมูลและจัดทำรายงานในภายหลัง

จากข้อจำกัดต่างๆ ที่กล่าวมานี้ ทำให้ทราบได้ว่าโปรแกรมประยุกต์ที่เป็นผลลัพธ์ของงานวิจัยจะสามารถช่วยสนับสนุนการทำงานและแก้ปัญหาในการสำรวจรังวัดเบื้องต้นได้ เนื่องจากสามารถแก้ไขปัญหามีอยู่และตอบสนองต่อการทำงานจริงได้ เพราะ สามารถจดบันทึกข้อมูลได้แม่นยำ โดยใช้ GPS และแผนที่จริง พกพาสะดวก เนื่องจากเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่อยู่

ภายในสมาร์ตโฟนที่ใช้กันเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน สามารถหาความสูงของสิ่งที่ต้องการหาความสูงได้ทันที และสุดท้ายคือสามารถแสดงรายงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ ไม่จำเป็นต้องเรียงเรียงข้อมูล และจัดทำรายงานในภายหลัง

4.4 ปัญหาที่พบในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์และสรุปด้วยวิธีตารางแจกแจงความถี่ที่ผู้มีประสบการณ์ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานจริงในปัจจุบันทั้งจากการสัมภาษณ์และบอกเล่าประสบการณ์แล้ว จะสามารถแบ่งปัญหาที่พบได้หลักๆ ออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจมีจำกัด

ดังเช่นจากประสบการณ์เก็บข้อมูลที่สนามบินสุวรรณภูมิ โครงการขยายสนามบินสุวรรณภูมิ ระยะ 2 สัญญาจ้างก่อสร้างส่วนขยายอาคารผู้โดยสารด้านทิศตะวันออก โดยบริษัทองค์การท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ว่าจ้าง ที่ผู้มีประสบการณ์ได้เล่าถึง หากพื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ปิดที่มีตารางเวลาแน่นอน ผู้สำรวจจะมีระยะเวลาที่จำกัดในการทำงาน โดยข้อมูลจากผู้มีประสบการณ์กล่าวว่า การสำรวจขั้นต้นในกรณีนี้จะมีเวลาให้สำรวจประมาณครึ่งวันถึงหนึ่งวัน ซึ่งถ้าบริเวณก่อสร้างมีขนาดใหญ่หรือมีข้อมูลมาก จะทำให้ระยะเวลาที่สามารถใช้สำรวจในแต่ละบริเวณนั้นลดลง จนบางครั้งอาจเป็นการเดินหรือขับรถผ่านเท่านั้น ทำให้ไม่มีระยะเวลาสำรวจที่เพียงพอ

4.4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ไม่เหมาะสม

สรุปข้อมูลจากผู้มีประสบการณ์พบว่าในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นยังไม่มีควมจำเป็นที่จะต้องใช้กล้องสำรวจ เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- 1) ผู้ว่าจ้างไม่อนุญาตให้นำกล้องสำรวจหรือทีมสำรวจเข้ามาในพื้นที่
- 2) มีค่าใช้จ่ายสูง
- 3) ใช้เวลานานหรือไม่คุ้มค่ากับเวลาที่เสียไป เช่น สำรวจสิ่งต่างๆ ในการประมูลงานที่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าจะได้รับงานหรือไม่

ในปัจจุบันจึงใช้เพียงการบันทึกด้วยภาพ และการจดข้อมูลเท่านั้น ซึ่งเป็นปัญหาทำให้ได้ข้อมูลที่อาจคลาดเคลื่อน ถ้าไม่สามารถกะตำแหน่งหรือจดจำข้อมูลได้ดีพอ

4.4.3 ยังไม่มีการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ

การบันทึกข้อมูลในปัจจุบันยังขาดการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ เช่น การวาดภาพร่างของพื้นที่ก่อสร้างและกำหนดตำแหน่งคร่าวๆ ของอุปกรณ์หรือสิ่งที่ต้องการวัดต่างๆ ซึ่งขาดความแม่นยำเนื่องจากเป็นการประมาณการ รวมถึงข้อจำกัดของการถ่ายโอนข้อมูล ข้อมูลที่ได้นั้นจึงถูกจัดเก็บอยู่ต่างแหล่ง ทำให้ต้องนำมาจัดทำเป็นรายงานสรุปในภายหลัง และเป็นการยากที่จะนำเสนอให้ผู้อื่นเข้าใจ

จากการสำรวจโปรแกรมประยุกต์เกี่ยวกับงานสำรวจที่มีอยู่ในปัจจุบันและการสืบค้นงานวิจัยในอดีตทำให้ทราบได้ว่าสามารถจำแนกโปรแกรมโดยแบ่งออกตามความสามารถของโปรแกรมได้เป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) วัดความสูง การวัดความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์สามารถจำแนกเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

1.1) วัดความสูงพื้นฐาน เป็นการวัดความสูงด้วยตรีโกณมิติทั่วไป

1.2) วัดความสูงโดยไม่จำเป็นต้องเห็นฐานของสิ่งที่ต้องการวัด เป็นการวัดความสูงที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากถ้าผู้ใช้ไม่เห็นฐานของสิ่งที่ต้องการวัดทำให้ไม่สามารถใช้การวัดด้วยตรีโกณมิติเพียงอย่างเดียวไม่ได้

1.3) วัดความสูงเมื่อผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน เป็นการวัดความสูงที่มีความซับซ้อนมากกว่าอีก 2 ประเภทข้างต้น เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีตรีโกณมิติได้

2) ระบุตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัด

3) จดบันทึก

4) สร้างรายงาน

โดยสามารถสรุปความสามารถในการทำงานของตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ได้ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 แสดงความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

| ชื่อโปรแกรมประยุกต์ | วัดความสูง | | | ระบุตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัด | จัดบันทึก | สร้างรายงาน |
|----------------------------|------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|
| | พื้นฐาน | ไม่ต้องเห็นฐานวัตถุ | ผู้ใช้ไม่ได้อยู่บนพื้นดิน | | | |
| Altitude | | | | / | | |
| Travel Altimeter | | | | / | | |
| CamMeasure | / | | | | | / |
| Planimeter | | | | / | | |
| Height and Distance | / | | | | | |
| Measure Height with Camera | / | | | | | |
| ArcGIS | | | | / | / | / |
| ConOHM | / | / | / | / | / | / |

หมายเหตุ การวัดความสูงแบบพื้นฐานคือ การวัดความสูงที่เห็นทั้งยอดและฐานของสิ่งที่ต้องการวัด และคำนวณหาค่าความสูงได้ด้วยทฤษฎีตรีโกณมิติทั่วไป

จากตาราง 4.7 จะเห็นได้ว่าจากโปรแกรมประยุกต์ที่เสนอมานั้น ยังไม่มีโปรแกรมประยุกต์ตัวใดที่สามารถวัดความสูงที่ซับซ้อนได้มากกว่าการใช้วิธีตรีโกณมิติ ซึ่งมีความโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก นอกจากนี้ยังไม่มีโปรแกรมประยุกต์ตัวใดที่สามารถวัดความสูงได้พร้อมกับการระบุตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัด รวมไปถึงการจัดบันทึกและการสร้างรายงาน ทำให้การสร้าง

โปรแกรมประยุกต์ที่สามารถสนับสนุนการทำงานได้ทั้ง 4 ข้อหลักนั้นมีความจำเป็น เพื่อให้การสำรวจรังวัดในขั้นต้นมีความสะดวกสบายมากขึ้น

4.5 แนวทางการแก้ปัญหา

จากปัญหาและตัวอย่างประสบการณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้มีแนวทางสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ดังนี้ 1) ใช้เวลาทำงานน้อย 2) ใช้อุปกรณ์น้อย 3) เก็บข้อมูลได้ถูกต้อง และ 4) สามารถบันทึกและสร้างรายงานที่สามารถนำไปใช้ต่อได้ ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ในสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้อย่างตรงจุด เนื่องจากในยุคปัจจุบันมีแนวโน้มที่สมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตจะเป็นที่นิยมมากขึ้น และผู้ใช้ต่างรู้สึกพอใจที่จะได้ใช้สมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตเพื่อการทำงาน

จากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานปัจจุบันซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 หัวข้อ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ และการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตนั้นเป็นเครื่องมือที่จะสามารถแก้ปัญหาได้ครบทุกจุด เนื่องจากสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบันประกอบด้วยระบบและตัวรับสัญญาณต่างๆ ที่สามารถนำมาพัฒนาให้เหมาะสมกับการทำงานได้ เช่น ระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) ตัวรับสัญญาณวัดความเร็วเชิงมุม (Gyroscope) ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure Sensor) และตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor) ดังนั้นอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการสำรวจจึงเหลือเพียงสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตเพียงอย่างเดียว สามารถลดปริมาณการบรรทุกอุปกรณ์ต่างๆ ในการสำรวจได้

นอกจากนี้แล้วยังสามารถลดเวลาการวัดและการจดบันทึกขณะทำการสำรวจได้ เนื่องจากการทำงานจริงบางครั้งมีเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยที่สำคัญ การใช้โปรแกรมประยุกต์จึงง่ายกว่าและเร็วกว่าการทำงานจริงในปัจจุบัน รวมถึงการจัดเก็บผลการวัดทั้งข้อมูลและรูปภาพไว้ในที่เดียวกันทำให้สะดวกต่อการนำข้อมูลไปใช้ต่อมากยิ่งขึ้น

เมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เรียบร้อยแล้ว ความเห็นของผู้มีประสบการณ์ที่ทดลองใช้โปรแกรมประยุกต์ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเป็นตัววัดผลว่าโปรแกรมประยุกต์ในงานวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อการทำงานจริงหรือไม่ อย่างไร และนำความคิดเห็นและข้อเสนอแนะมาปรับปรุงในงานวิจัยต่อไป

4.6 สรุป

จากการสัมภาษณ์กลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้ทราบได้ว่า ในขณะนี้การสำรวจรังวัด โดยเฉพาะการสำรวจในขั้นต้นของการทำงานก่อสร้างนั้น กำลังประสบปัญหาอยู่จริงตามที่ได้มีการศึกษาหาข้อมูลจากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถแบ่งปัญหาออกมาได้เป็นจำนวน 3 หัวข้อ คือ 1) ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจมีจำกัด ทำให้ไม่สามารถรังวัดได้ละเอียดถี่ถ้วน 2) อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ไม่เหมาะสม เนื่องจากเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีอยู่ปัจจุบัน ไม่สามารถตอบสนองต่อการทำงานได้จริง และ 3) ยังไม่มีการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพ เข้าใจยาก และเกิดความคลาดเคลื่อนในการใช้งานต่อไป

จากปัญหาและตัวอย่างประสบการณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้มีแนวทางสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ดังนี้ 1) ใช้เวลาทำงานน้อย 2) ใช้อุปกรณ์น้อย 3) เก็บข้อมูลได้ถูกต้อง และ 4) สามารถบันทึกและสร้างรายงานที่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ในสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้อย่างตรงจุด เนื่องจากในยุคปัจจุบันมีแนวโน้มที่สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตจะเป็นที่นิยมมากขึ้น และผู้ใช้ต่างรู้สึกพอใจที่จะได้ใช้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตเพื่อการทำงาน

บทที่ 5

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต

5.1 บทนำ

จากบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าการไปศึกษาสถานที่ก่อสร้างจริงนั้นยังคงเป็นปัจจัยหลักในการเก็บข้อมูลก่อนเริ่มการทำงานในขั้นต่อไป สำหรับงานก่อสร้าง ซึ่งปฏิเสธไม่ได้ว่าในปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัดอยู่สำหรับการเก็บข้อมูลสถานที่ก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นเวลาที่จำกัดในการเก็บข้อมูล การเข้าถึงพื้นที่เพื่อรังวัด และคุณภาพของข้อมูลที่เก็บมาได้ เป็นต้น เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาเหล่านี้ การพัฒนาเครื่องมือที่จะช่วยเก็บข้อมูลได้อย่างเหมาะสมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องถูกพัฒนา โดยสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตได้ถูกเลือกเป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหา

อย่างไรก็ดี สมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตต่างต้องทำงานโดยใช้ชุดคำสั่งหรือโปรแกรมต่างๆ ในการทำงาน และในปัจจุบันยังไม่มีโปรแกรมที่จะสามารถสั่งการให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตสามารถทำงานได้เหมาะสมเพื่อให้ตอบโจทย์ของการทำงานที่หน้างานได้ ดังนั้น โปรแกรมประยุกต์จึงจำเป็นต้องถูกพัฒนาขึ้น เพื่อสนับสนุนการทำงานในส่วนนี้

ภายในบทที่ 5 จะนำเสนอถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่จะถูกใช้แก้ไขปัญหาในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นที่หน้างานเพื่อประเมินผลสู่การวางแผนทำงานในขั้นตอนต่อไป โดยแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อใหญ่ ประกอบไปด้วย 1) บทนำ 2) การสำรวจความสูงโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ 3) ระบบและทฤษฎีที่ใช้ในโปรแกรมประยุกต์ 4) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต 5) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ และ 6) สรุป

5.2 การสำรวจความสูงโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์และโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ที่สามารถใช้หาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดได้ เช่น สายวัด เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ และโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นต้น ในหัวข้อนี้จึงทำการทดสอบวัดความสูงด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ในเรื่องของความแม่นยำและความสะดวกในการใช้งาน โดยทำการวัดความสูงของหลังคาโรงจอดรถของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.1 และความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.2 เป็นจำนวนจุดละ 10 ครั้ง



รูป 5.1 แสดงจุดที่วัดของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.2 แสดงจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1 การสำรวจความสูงด้วยสายวัด

5.2.1.1 หลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยสายวัดของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 2.42 |
| 2 | 2.42 |
| 3 | 2.45 |
| 4 | 2.43 |
| 5 | 2.40 |
| 6 | 2.41 |
| 7 | 2.43 |
| 8 | 2.43 |
| 9 | 2.42 |
| 10 | 2.43 |
| เฉลี่ย | 2.42 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.01 |

5.2.1.2 จุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยสายวัดของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.3 และได้ผลดังตาราง 5.2



รูป 5.3 แสดงการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด

ตาราง 5.2 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด

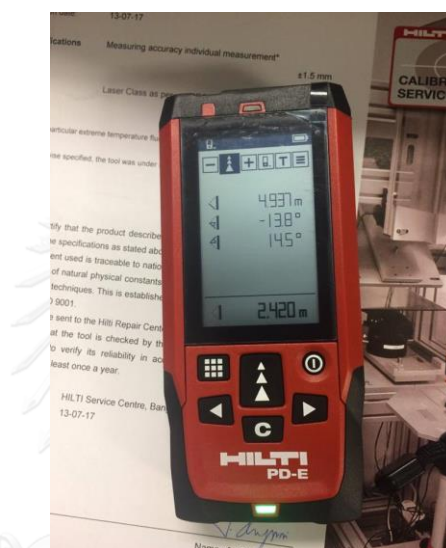
| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 24.47 |
| 2 | 24.39 |
| 3 | 24.45 |
| 4 | 24.36 |
| 5 | 24.44 |
| 6 | 24.47 |
| 7 | 24.35 |
| 8 | 24.31 |
| 9 | 24.42 |
| 10 | 24.48 |
| เฉลี่ย | 24.41 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.06 |

5.2.2 การสำรวจความสูงด้วยสายวัดด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

การสำรวจความสูงด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ของอาคารวิศวกรรมโยธา อุปกรณ์ที่ใช้คือเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์รุ่น PD-E ของบริษัท ฮิลติ (ประเทศไทย) จำกัด

5.2.2.1 หลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.4 และได้ผลดังตาราง 5.3



รูป 5.4 แสดงผลการวัดความสูงของหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

ตาราง 5.3 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

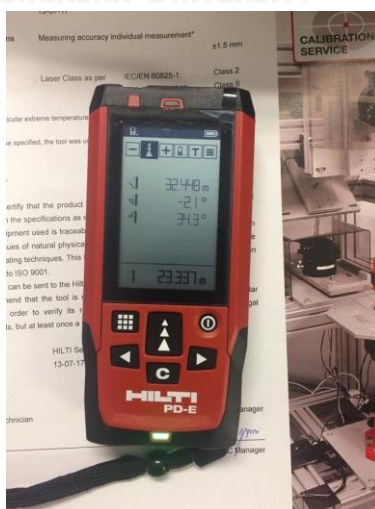
| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------|--|
| 1 | 2.40 |
| 2 | 2.45 |
| 3 | 2.45 |
| 4 | 2.42 |

ตาราง 5.3 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (ต่อ)

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 5 | 2.40 |
| 6 | 2.40 |
| 7 | 2.42 |
| 8 | 2.45 |
| 9 | 2.40 |
| 10 | 2.45 |
| เฉลี่ย | 2.42 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.02 |

5.2.2.2 จุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังตาราง 5.5 และได้ผลดังตาราง 5.4



รูป 5.5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

ตาราง 5.4 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 25.34 |
| 2 | 23.33 |
| 3 | 25.32 |
| 4 | 23.83 |
| 5 | 24.54 |
| 6 | 24.79 |
| 7 | 23.98 |
| 8 | 23.86 |
| 9 | 24.77 |
| 10 | 24.90 |
| เฉลี่ย | 24.47 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.68 |

5.2.3 การสำรวจความสูงด้วยสายวัดด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนที่มีในปัจจุบัน

การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนที่มีในปัจจุบัน ได้คัดเลือกมา 2 โปรแกรมประยุกต์ที่เป็นที่นิยมจากการจัดอันดับในแอปสโตร์ของโปรแกรมประยุกต์ประเภทวัดความสูง ได้แก่ โปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height

มีวิธีการปฏิบัติดังนี้

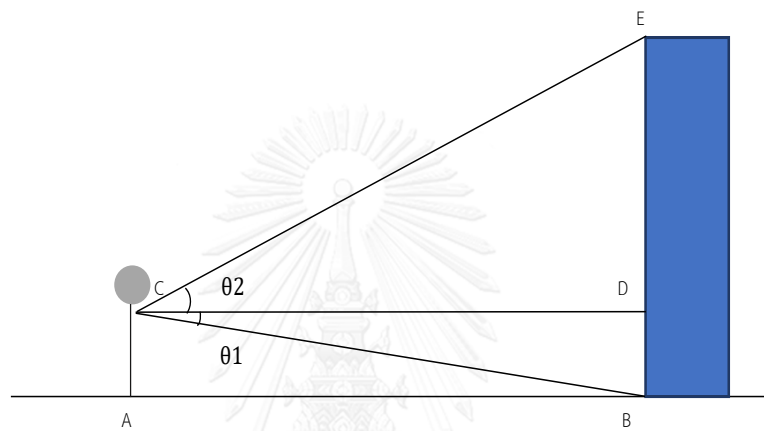
- 1) ใส่ค่าความสูงของผู้วัด
- 2) วัดมุมก้มจากฐานของสิ่งที่ต้องการวัด (θ_1)

3) วัดมุมเงยจากยอดของสิ่งที่ต้องการวัด (θ_2)

4) คำนวณหาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดโดยทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส ดัง

สมการ

$$\text{ระยะ BE} = \text{ระยะ AC} + (\text{ระยะ AC}) \frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1} \quad \text{----- (1)}$$



รูป 5.6 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดโดยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบัน
ประกอบการคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2.3.1 หลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่มีในปัจจุบันของหลังคา
โรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.7 และได้ผลดังตาราง

5.5

Enter your height

162 cm

or

ft

in

Next

Height: 2.2m, 7.3ft

Distance: 5.7m, 18.8ft

รูป 5.7 แสดงผลการวัดความสูงของโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยโปรแกรมประยุกต์ Object Height

ตาราง 5.5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยโปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) | |
|----------|--|---------------|
| | CamMeasure | Object Height |
| 1 | 2.53 | 2.10 |
| 2 | 2.23 | 2.20 |
| 3 | 2.35 | 2.20 |
| 4 | 2.57 | 2.10 |
| 5 | 2.49 | 2.00 |
| 6 | 2.32 | 2.30 |
| 7 | 2.20 | 2.20 |

ตาราง 5.5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height (ต่อ)

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) | |
|----------------------|--|---------------|
| | CamMeasure | Object Height |
| 8 | 2.50 | 2.10 |
| 9 | 2.52 | 2.30 |
| 10 | 2.10 | 2.10 |
| เฉลี่ย | 2.38 | 2.16 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.16 | 0.10 |

5.2.3.2 หลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา

การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนที่มีในปัจจุบันของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 5.8 และได้ผลดังตาราง 5.6



รูป 5.8 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยโปรแกรมประยุกต์

CamMeasure

ตาราง 5.6 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) | |
|----------------------|--|---------------|
| | CamMeasure | Object Height |
| 1 | 13.49 | 10.50 |
| 2 | 13.60 | 12.40 |
| 3 | 14.50 | 13.00 |
| 4 | 13.17 | 11.50 |
| 5 | 13.04 | 10.80 |
| 6 | 12.55 | 12.60 |
| 7 | 14.58 | 11.40 |
| 8 | 12.83 | 13.20 |
| 9 | 13.59 | 10.90 |
| 10 | 13.47 | 11.30 |
| เฉลี่ย | 13.48 | 11.76 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.65 | 0.97 |

5.2.4 การเปรียบเทียบผลการสำรวจความสูงของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ

การสำรวจความสูงของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ ได้แก่ สายวัด เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่มีในปัจจุบัน สามารถสรุปผลได้ดังตาราง 5.7 และ ตาราง 5.8

ตาราง 5.7 แสดงการเปรียบเทียบผลการวัดความสูงของโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ

| จุดที่ยืน ด้านข้างอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา | | | เป้าหมาย หลังคาอาคารจอดรถ | |
|---|------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|
| ครั้งที่ | เครื่องมือวัด | | | |
| | สายวัด (เมตร) | PD-E (เมตร) | โปรแกรมประยุกต์ที่มีในปัจจุบัน | |
| | | | CamMeasure (เมตร) | Object Height (เมตร) |
| 1 | 2.42 | 2.40 | 2.53 | 2.10 |
| 2 | 2.42 | 2.45 | 2.23 | 2.20 |
| 3 | 2.45 | 2.45 | 2.35 | 2.20 |
| 4 | 2.43 | 2.42 | 2.57 | 2.10 |
| 5 | 2.40 | 2.40 | 2.49 | 2.00 |
| 6 | 2.41 | 2.40 | 2.32 | 2.30 |
| 7 | 2.43 | 2.42 | 2.20 | 2.20 |
| 8 | 2.43 | 2.45 | 2.50 | 2.10 |
| 9 | 2.42 | 2.40 | 2.52 | 2.30 |
| 10 | 2.43 | 2.45 | 2.10 | 2.10 |
| เฉลี่ย | 2.42 | 2.42 | 2.38 | 2.16 |
| S.D. | 0.01 | 0.02 | 0.16 | 0.10 |
| ร้อยละความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับสายวัด | | 0.00 | 1.65 | 10.74 |

ตาราง 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยอุปกรณ์ประเภทต่างๆ

| จุดที่ยืน ด้านข้างอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา | | | เป้าหมาย กำแพงคาดฟ้าอาคารวิศวกรรมโยธา | |
|---|------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------|
| ครั้งที่ | เครื่องมือวัด | | | |
| | สายวัด (เมตร) | PD-E (เมตร) | โปรแกรมประยุกต์ที่มีในปัจจุบัน | |
| | | | CamMeasure (เมตร) | Object Height (เมตร) |
| 1 | 24.47 | 25.34 | 13.49 | 10.50 |
| 2 | 24.39 | 23.33 | 13.60 | 12.40 |
| 3 | 24.45 | 25.32 | 14.50 | 13.00 |
| 4 | 24.36 | 23.83 | 13.17 | 11.50 |
| 5 | 24.44 | 24.54 | 13.04 | 10.80 |
| 6 | 24.47 | 24.79 | 12.55 | 12.60 |
| 7 | 24.35 | 23.98 | 14.58 | 11.40 |
| 8 | 24.31 | 23.86 | 12.83 | 13.20 |
| 9 | 24.42 | 24.77 | 13.59 | 10.90 |
| 10 | 24.48 | 24.90 | 13.47 | 11.30 |
| เฉลี่ย | 24.41 | 24.47 | 13.48 | 11.76 |
| S.D. | 0.06 | 0.68 | 0.65 | 0.97 |
| ร้อยละความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับสายวัด | | 0.25 | 45.02 | 52.07 |

จากตาราง 5.7 และ ตาราง 5.8 จะเห็นได้ว่าค่าจากสายวัดระยะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเหมาะที่จะถูกนำมาใช้เป็นหลักอ้างอิงของการวัดในครั้งนี้ สำหรับเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ รุ่น PD-E ของบริษัท ฮิลติ (ประเทศไทย) จำกัด แสดงค่าความสูงได้ใกล้เคียงกับสายวัดระยะที่สุด ในขณะที่โปรแกรมประยุกต์ที่ได้รับความนิยมใน App Store ของ iOS อย่าง CamMeasure และ Object Height ก็ไม่เหมาะสมที่จะถูกนำมาใช้วัดสิ่งกีดขวางที่มีความสูงมากเช่นกัน เนื่องจากค่าความสูงที่ได้จากการรังวัดอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธานั้นคลาดเคลื่อนจากวิธีการวัดวิธีอื่นๆ ไปมาก อย่างไรก็ตาม จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์อาจนำมาใช้วัดสิ่งกีดขวางที่มีขนาดสูงได้หากมีอุปกรณ์เสริมที่ช่วยสนับสนุนการวัดมากกว่านี้ เนื่องจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการรังวัดอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธามีค่าสูง ในขณะที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์จากการรังวัดหลังคาอาคารจอดรถหน้าอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธากลับมีค่าน้อยมากเทียบเท่ากับสายวัด แต่หากวัดความสูงอาคารจอดรถซึ่งมีความสูงไม่มาก โปรแกรมประยุกต์เหล่านี้ก็สามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงมากขึ้นกับการวัดด้วยวิธีอื่นๆ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงอย่างเห็นได้ชัด

5.3 ระบบและหลักการคิดที่ใช้ในโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบการใช้โปรแกรมประยุกต์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันดังหัวข้อ 5.1 ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดและข้อผิดพลาดของข้อมูล ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาและประยุกต์หลักการคำนวณหาความสูงและการระบุตำแหน่ง โดยพยายามลดจุดที่มีโอกาสผิดพลาดโดยการรับค่าจากผู้ใช้ ซึ่งต้องพยายามรับค่าจากผู้ใช้ให้น้อยที่สุดในการรังวัด และต้องหาทางรับค่าที่มีความเชื่อถือได้ด้วยความสามารถของโปรแกรมประยุกต์และระบบของสมาร์ทโฟนในปัจจุบัน

5.3.1 ระบบและตัวรับสัญญาณสำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

จากงานวิจัยในอดีต และแนวคิดของการพัฒนาโปรแกรมวัดความสูงในปัจจุบัน นั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ 1) ผู้ใช้จะต้องอยู่บนระนาบเดียวกับสิ่งที่ต้องการวัด 2) การวัดและการคำนวณไม่คำนึงถึงระดับความสูงพื้นดิน 3) ผู้ใช้จะต้องเห็นทั้งยอดและฐานของสิ่งที่ต้องการวัดจึงจะทำการวัดได้ หากขาดข้อใดข้อหนึ่งใน 3 ข้อนี้จะส่งผลต่อค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ รวมถึงการวัดด้วยกล้องสำรวจนั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและจำเป็นต้องใช้ผู้มีประสบการณ์เท่านั้น โปรแกรมประยุกต์นี้จึงต้องการระบบและตัวรับสัญญาณบนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่สามารถพัฒนาข้อจำกัดและปัญหาที่มีอยู่ปัจจุบันโดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

5.3.1.1 ระบบในสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่จำเป็น

- 1) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)
- 2) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (Global Positioning System: GPS)
- 3) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless ; Bluetooth, 3G Internet)

5.3.1.2 ตัวรับสัญญาณในสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่จำเป็น

- 1) ตัวรับสัญญาณการวัดความเร่งของแรงโน้มถ่วง (Accelerometer, G-sensor)
- 2) ตัวรับสัญญาณการวัดความเร็วเชิงมุม (Direction sensors, Gyroscope)
- 3) ตัวรับสัญญาณการวัดความดัน (Pressure sensors)

5.3.2 สูตรที่ใช้ภายในระบบ

5.3.2.1 การหาระยะทางจากพิกัดละติจูดและลองจิจูด

การหาระยะทางจากพิกัดละติจูดและลองจิจูดในโปรแกรม Xcode นั้นเป็นโปรแกรมย่อยที่ฝังอยู่สำหรับเรียกใช้งานเพื่อความสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งมีหลักการคำนวณจากสมการของฮาเวอร์ไซน์ (Sinnott, 1984) เป็นสมการหาระยะทางระหว่างพิกัดละติจูดและลองจิจูด 2 จุด โดยมีสูตรดังนี้

$$\Delta\text{lat} = \text{lat}_2 - \text{lat}_1 \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\Delta\text{long} = \text{long}_2 - \text{long}_1 \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$a = \sin^2(\Delta\text{lat}/2) + \cos(\text{lat}_1) \times \cos(\text{lat}_2) \times \sin^2(\Delta\text{long}/2) \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$c = 2 \times a \times \tan 2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$d = R \times c \quad \text{-----} \quad (6)$$

เมื่อ lat_1 คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ 1

lat_2 คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ 2

long_1 คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ 1

$long_2$ คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ 2

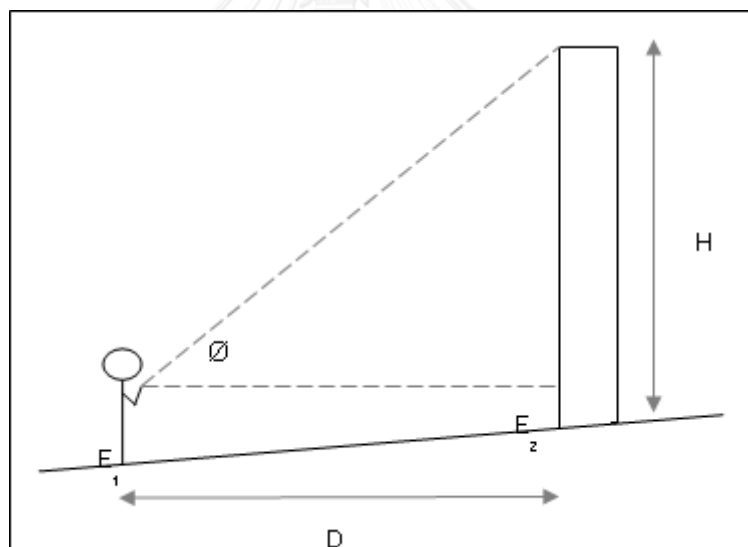
R คือ ค่าคงที่รัศมีค่าเฉลี่ยโลก มีค่า 6,37101 กม.

d คือ ระยะทางระหว่างพิกัดจุด 2 จุด

5.3.2.2 การหาความสูงด้วยทฤษฎีตรีโกณมิติ

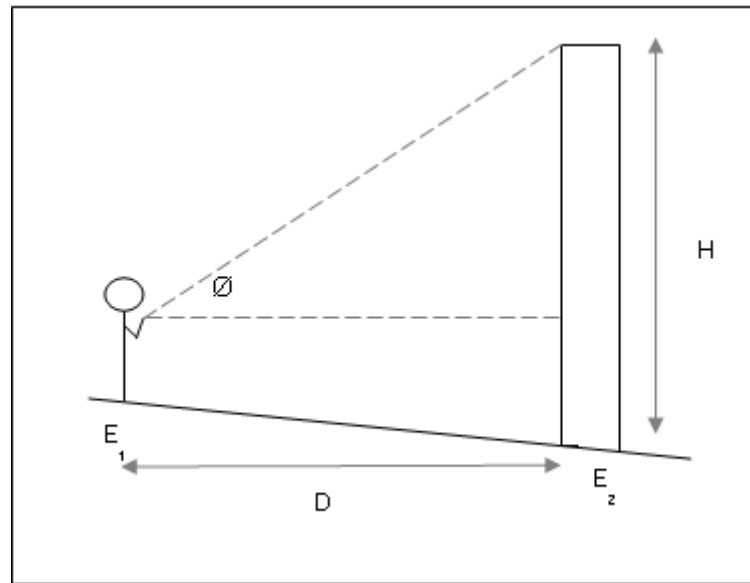
จากงานวิจัยในอดีตพบว่าทฤษฎีและแนวคิดที่นำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ในปัจจุบันนั้นไม่คำนึงถึงความต่างของระดับพื้นดินของผู้ใช้และสิ่งที่ต้องการวัด แต่ในงานวิจัยนี้คำนึงถึงในเรื่องดังกล่าวนี้ด้วยเพื่อให้ตรงตามความเป็นจริงและได้ค่าใกล้เคียงความจริงมากที่สุด จึงสามารถแบ่งสูตรที่ใช้ภายในระบบออกเป็น 7 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 กรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย



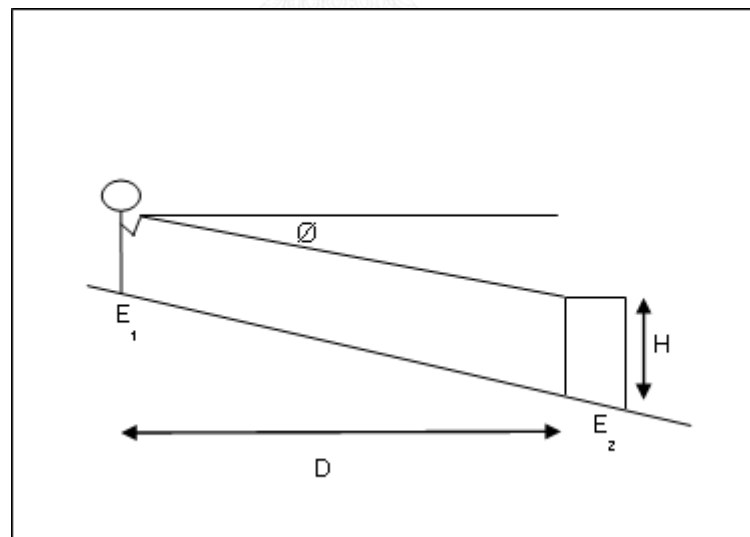
รูป 5.9 แสดงกรณีระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย

กรณีที่ 2 กรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย



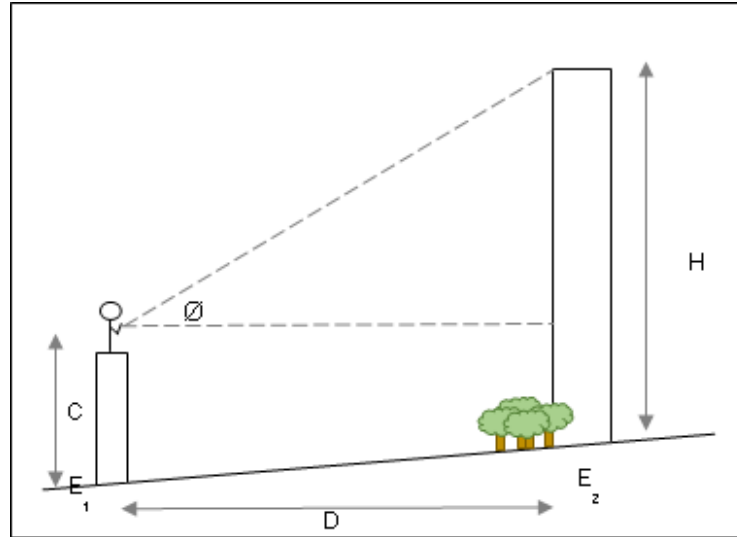
รูป 5.10 แสดงกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย

กรณีที่ 3 กรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม



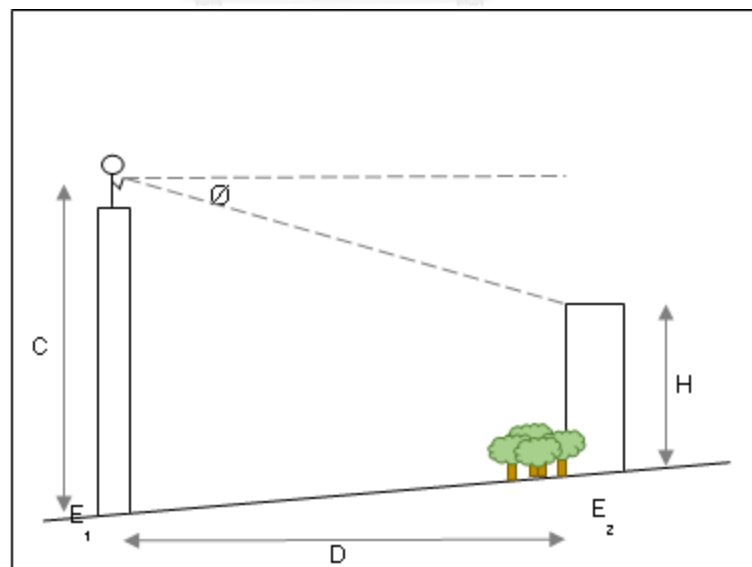
รูป 5.11 แสดงกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

กรณีที่ 4 กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย



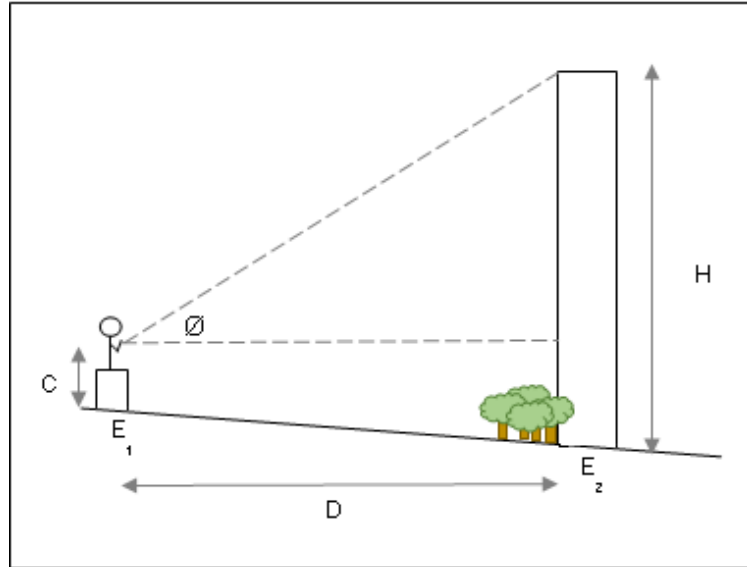
รูป 5.12 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย

กรณีที่ 5 กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม



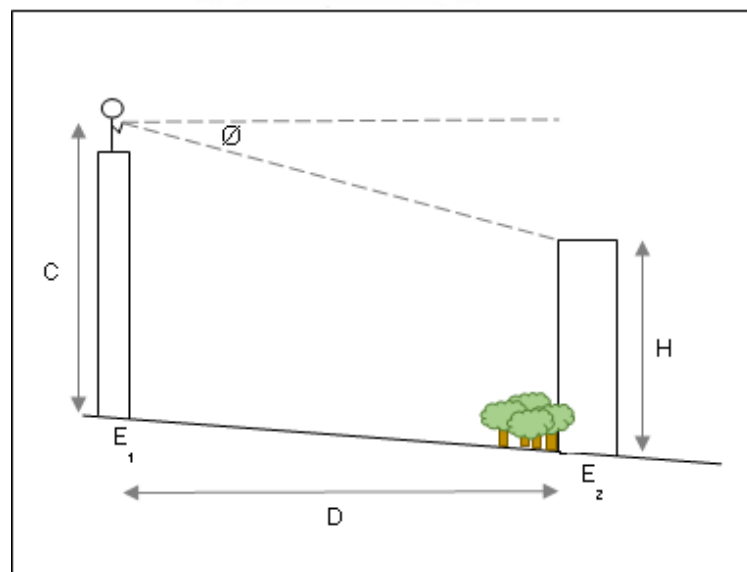
รูป 5.13 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

กรณีที่ 6 กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย



รูป 5.14 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย

กรณีที่ 7 กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม



รูป 5.15 แสดงกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

การคำนวณผลการวัดความสูงของโปรแกรมประยุกต์จะเข้าตามเงื่อนไขทั้ง 7 กรณีได้เองโดยอัตโนมัติ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

1) สูตรการคำนวณสำหรับ กรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย (กรณีที่ 1) และกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย (กรณีที่ 2)

$$H = (D \times \tan \phi) + E_1 - E_2 + C \quad \text{----- (7)}$$

เมื่อ H = ความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

D = ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

E_1 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งผู้ใช้ (เมตร)

E_2 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

C = ค่าคงที่จากความสูงผู้ใช้ (เมตร)

2) สูตรการคำนวณสำหรับกรณีที่ระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม (กรณีที่ 3)

$$H = C + E_1 - E_2 - (D \times \tan (\phi)) \quad \text{----- (8)}$$

เมื่อ H = ความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

D = ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

E_1 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งผู้ใช้ (เมตร)

E_2 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)

C = ค่าคงที่จากความสูงผู้ใช้ (เมตร)

3) สูตรการคำนวณสำหรับ กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย (กรณีที่ 4) และกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย (กรณีที่ 6)

$$H = (D \times \tan \phi) + E_1 - E_2 + C \quad \text{----- (9)}$$

- เมื่อ H = ความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 D = ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 E_1 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งผู้ใช้ (เมตร)
 E_2 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 C = ค่าคงที่จากตัวรับสัญญาณความดันอากาศ (เมตร)

4) สูตรการคำนวณสำหรับ กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม (กรณีที่ 5) และกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม (กรณีที่ 7)

$$H = C + E_1 - E_2 - (D \times \tan \phi) \quad \text{----- (10)}$$

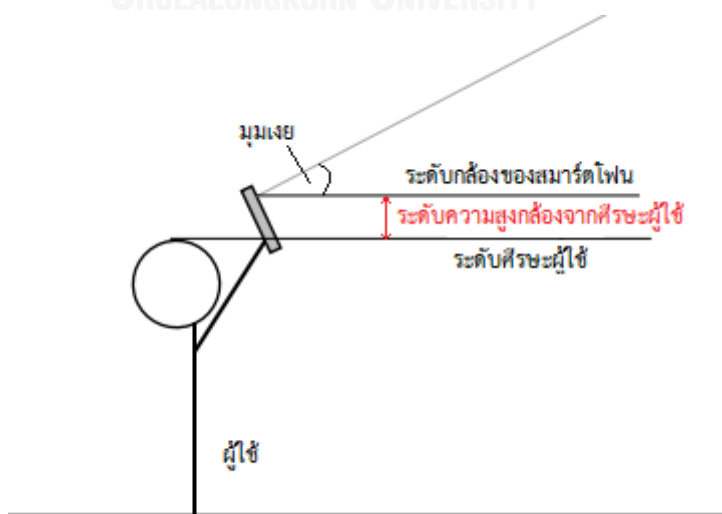
- เมื่อ H = ความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 D = ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 E_1 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งผู้ใช้ (เมตร)
 E_2 = ความสูงพื้นดินของตำแหน่งสิ่งที่ต้องการวัด (เมตร)
 C = ค่าคงที่จากตัวรับสัญญาณความดันอากาศ (เมตร)

5.3.3 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ตโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง

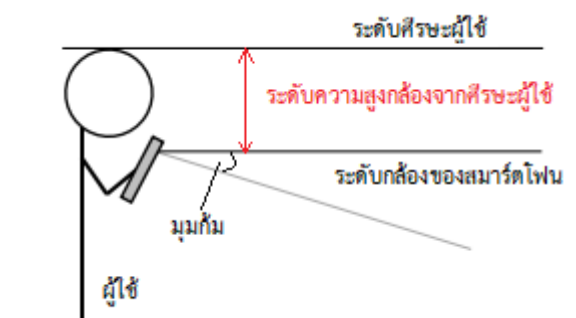
การพัฒนาสูตรคำนวณนั้นมีเรื่องค่าคงที่ของความสูงตัวรับสัญญาณกล้องสมาร์ตโฟนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งหากผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน ระบบจะต้องใช้ค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) ของระดับสมาร์ตโฟนมาช่วยในการคำนวณ ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มุมตั้งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย ดังรูป 5.16 และกรณีที่ 2 มุมตั้งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม ดังรูป 5.17 โดยทำการทดสอบเพื่อหาระดับความสูง

กล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงจากกลุ่มตัวอย่าง 30 คน ทั้ง 2 กรณี ดังตาราง 5.9 จากการทดสอบการหาระดับความสูงของตัวรับสัญญาณกล้องสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงพบว่า กรณีที่ 1 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ 2.60 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่ระดับสายตาถึงระดับระดับเหนือศีรษะของผู้ใช้เล็กน้อย ส่วนกรณีที่ 2 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ -41.17 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่อกถึงระดับเอวของผู้ใช้

ตาราง 5.9 จากการทดสอบการหาระดับความสูงของตัวรับสัญญาณกล้องสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงพบว่า กรณีที่ 1 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ 2.60 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่ระดับสายตาถึงระดับระดับเหนือศีรษะของผู้ใช้เล็กน้อย ส่วนกรณีที่ 2 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ -41.17 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่อกถึงระดับเอวของผู้ใช้ เพื่อนำไปปรับแก้ค่าในสูตรการคำนวณต่อไป



รูป 5.16 แสดงการวัดระดับความสูงกล้องจากศีรษะผู้ใช้ ในกรณีมุมเฉย



รูป 5.17 แสดงการวัดระดับความสูงกล้องจากศีรษะผู้ใช้ ในกรณีมุมก้ม

จากการทดสอบการหาระดับความสูงของตัวรับสัญญาณกล้องสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงพบว่า กรณีที่ 1 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ 2.60 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่ระดับสายตาถึงระดับระดับเหนือศีรษะของผู้ใช้เล็กน้อย ส่วนกรณีที่ 2 มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม ค่าเฉลี่ยของระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูงโดยวัดจากศีรษะถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน มีค่าเท่ากับ -41.17 เซนติเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.72 เซนติเมตร หรือระดับตั้งแต่อกถึงระดับเอวของผู้ใช้

ตาราง 5.9 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง

| คนที่ | ระยะความสูงจากการถือสมาร์ทโฟนโดยวัดจากศีรษะผู้ใช้ถึงระดับกล้องของสมาร์ทโฟน (เซนติเมตร) | |
|-------|--|---|
| | กรณีที่มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย | กรณีที่มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม |
| 1 | 5 | -40 |
| 2 | 0 | -51 |
| 3 | 5 | -39 |
| 4 | 5 | -41 |
| 5 | 7 | -35 |

ตาราง 5.9 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง (ต่อ)

| คนที่ | ระยะความสูงจากการถือสมาร์ทโฟนโดยวัดจากศีรษะผู้ใช้ถึงระดับ กล้องของสมาร์ทโฟน (เซนติเมตร) | |
|-------|--|--|
| | กรณีที่มีมุมตั้งที่เปิดจากแนวราบ ไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | มุมตั้งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุด ที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม |
| 6 | -5 | -34 |
| 7 | 3 | -33 |
| 8 | 5 | -39 |
| 9 | 10 | -34 |
| 10 | 5 | -39 |
| 11 | 5 | -45 |
| 12 | -5 | -42 |
| 13 | -6 | -51 |
| 14 | 5 | -33 |
| 15 | 10 | -50 |
| 16 | -4 | -51 |
| 17 | -5 | -44 |
| 18 | 0 | -35 |
| 19 | 5 | -42 |
| 20 | 5 | -46 |
| 21 | 2 | -47 |
| 22 | 0 | -43 |
| 23 | -3 | -44 |
| 24 | 6 | -49 |
| 25 | 5 | -38 |
| 26 | 0 | -42 |

ตาราง 5.9 การหาระดับความสูงกล้องของสมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ถือในการวัดความสูง (ต่อ)

| คนที่ | ระยะความสูงจากการถือสมาร์ทโฟนโดยวัดจากศีรษะผู้ใช้ถึงระดับ กล้องของสมาร์ทโฟน (เซนติเมตร) | |
|----------------------|--|--|
| | กรณีที่มีมุมตั้งที่เปิดจากแนวราบ ไปยังจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย | มุมตั้งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุด ที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม |
| 27 | 8 | -35 |
| 28 | 0 | -35 |
| 29 | 0 | -40 |
| 30 | 10 | -38 |
| เฉลี่ย | 2.60 | -41.17 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 4.72 | 5.72 |

5.3.4 ตัวอย่างการคำนวณ

จากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรมประยุกต์เพื่อหาความสูงของจุดอ้างอิงบนอาคารปฏิบัติการ
วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมได้ข้อมูลดังนี้

- 1) ความสูงของผู้ใช้ 162 เซนติเมตร
- 2) ตำแหน่งผู้ใช้ ละติจูด 13.736295 องศา ลองจิจูด 100.532856 องศา และ
ความสูงของระดับพื้นดิน 16.70 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งได้จากการดึงข้อมูลดาวเทียม Google
Earth
- 3) ตำแหน่งของจุดอ้างอิงบนอาคารวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ละติจูด
13.735839 องศา ลองจิจูด 100.532799 องศา และความสูงของระดับพื้นดิน 16.13 เมตรเหนือ
ระดับน้ำทะเล ซึ่งได้จากการดึงข้อมูลดาวเทียม Google Earth
- 4) มุมตั้งที่เปิดจากแนวราบถึงจุดอ้างอิงบนอาคารมีค่า 24.75 องศา

รูป 5.18 แสดงให้เห็นถึงค่าที่ใช้ในการคำนวณต่างๆ

ขั้นตอนที่ 1 การหาระยะทางจากพิกัดละติจูดและลองจิจูด

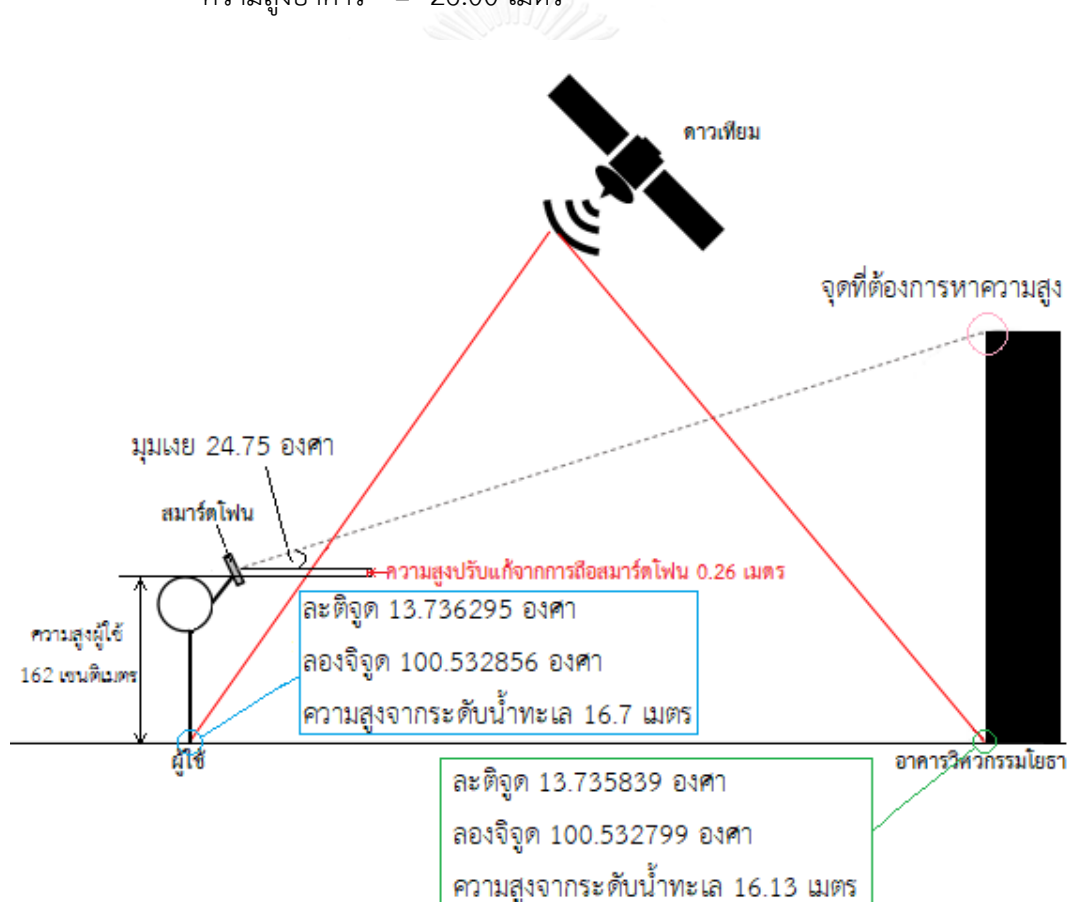
จากที่กล่าวข้างต้นว่าการหาระยะทางจากพิกัดละติจูดและลองจิจูดในโปรแกรม Xcode นั้นเป็นโปรแกรมย่อยที่ฝังอยู่สำหรับเรียกใช้งานเพื่อความสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ เมื่อได้พิกัดละติจูดและลองจิจูดของตำแหน่งผู้ใช้และตำแหน่งอาคารแล้ว โปรแกรมย่อยจะสามารถหาระยะทางระหว่างจุดได้ทันที โดยมีค่าเท่ากับ 51.08 เมตร

ขั้นตอนที่ 2 การหาความสูงด้วยทฤษฎีตรีโกณมิติ

จากข้อมูลที่เก็บได้พบว่าเข้ากรณีที่ 2 คือระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด ดังนั้นจึงใช้สมการ (7)

$$\text{ความสูงอาคาร} = (1.62+0.26) + 16.70 - 16.13 + (51.08 \times \text{Tan} (24.75))$$

$$\text{ความสูงอาคาร} = 26.00 \text{ เมตร}$$



รูป 5.18 แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณความสูงต่างๆ

5.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต ConOHM จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รองรับระบบและตัวรับสัญญาณต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทฮาร์ดแวร์ (Hardware) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเฉพาะเจาะจงไปที่การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) สำหรับไอโฟน (iPhone) ไอแพด (iPad) และไอพอดทัช (iPod Touch) เนื่องจากงานวิจัยของ Azhar (2015) ที่ได้อ้างอิงไว้ในบทที่ 2 ถึงร้อยละของระบบปฏิบัติการที่ถูกใช้โดยผู้เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง ซึ่งพบว่า iPad และ iPhone นั้นถูกใช้มากที่สุดเป็นอันดับ 1 และอันดับ 2 แสดงให้เห็นถึงความนิยมและการให้การยอมรับของระบบปฏิบัติการไอโอเอสในงานก่อสร้าง จึงเป็นเหตุผลให้เลือกใช้ระบบปฏิบัติการไอโอเอสในการวิจัย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถรองรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ระบบปฏิบัติการไอโอเอสได้

5.4.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทฮาร์ดแวร์ (Hardware)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทฮาร์ดแวร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส ต้องใช้คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการโอเอสเอกซ์ (OSX) ได้แก่ ไอแมค (iMac) แมคบุ๊ก (Macbook) แมคบุ๊กโปร (Macbook Pro) และ แมคบุ๊กแอร์ (Macbook Air) เป็นต้น

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ConOHM ใช้คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการโอเอสเอกซ์ (OSX) รุ่น MacBook Air 2014 ดังรูป 5.19



รูป 5.19 แสดงคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการโอเอสเอกซ์ รุ่น MacBook Air

ที่มา : <http://www.apple.com>

2) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับหน่วยประมวลผลกลาง

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับหน่วยประมวลผลกลางสำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส ได้แก่ ไอโฟน (iPhone) ไอแพด (iPad) ไอแพดโปร (iPad Pro) ไอแพดแอร์ (iPad Air) ไอแพดมินิ (iPad mini) และไอพอดทัช (iPod Touch) เป็นต้น

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ConOHM ใช้สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการไอโอเอสรุ่น iPhone 5S ดังรูป 5.20

ตาราง 5.10 แสดงข้อมูลของคอมพิวเตอร์ MacBook Air 2014

| รายการ | รายละเอียด |
|-----------------|--|
| CPU | Intel Core i5-4250U (1.30 GHz, 3 MB L3 Cache, up to 2.6 GHz) |
| Chipset | Mobile Intel HM77 Express Chipset |
| Graphic Card | Intel HD Graphics 5000 |
| Display Size | 13.3 inch WXGA+ (1440x900) LED |
| Display Type | Glare |
| Main Memory | 4 GB DDR3 |
| Hard Disk Drive | 128 GB SSD |
| Web Camera | 720P Face Time HD camera |
| Connection | Wireless Lan; 802.11ac Wi Bluetooth 4.0 |
| Battery | Built-in 54-watt-hour lithium-polymer battery Up to 12 hours |

ตาราง 5.11 แสดงข้อมูลของสมาร์ทโฟน iPhone 5S

| รายการ | รายละเอียด |
|-----------------|--|
| CPU | Dual-core 1.3 GHz Cyclone (ARM v8-based) iOS 7, upgradable to iOS 9.0.1 |
| Chipset | Apple A7 |
| Graphic Card | Intel HD Graphics 5000 |
| Display Size | 123.8 x 58.6 x 7.6 mm (4.87 x 2.31 x 0.30 in) LED-backlit IPS LCD, capacitive touchscreen, 16M colors |
| Display Type | Contrast ratio: 1219:1 (nominal) / 3.565:1 (sunlight) |
| Camera | Primary ---- 8 MP, 3264 x 2448 pixels, autofocus, dual-LED (dual tone) flash ---- Feature: 1/3" sensor size, 1.5 μ m pixel size, simultaneous HD video and image recording, touch focus, geo-tagging, face/smile detection, HDR (photo/panorama) ---- Video 1080p@30fps, 720p@120fps Secondary ---- 1.2 MP, 720p@30fps, face detection, FaceTime over Wi-Fi or Cellular |
| Main Memory | 16/32/64 GB, 1 GB RAM DDR3 |
| Hard Disk Drive | 128 GB SSD |
| Connection | Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, dual-band, hotspot Bluetooth 4.0, A2DP A-GPS, GLONASS |
| Battery | Built-in 54-watt-hour |



รูป 5.20 แสดงสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการไอโอเอส รุ่น iPhone 5s
ที่มา : <http://www.apple.com>

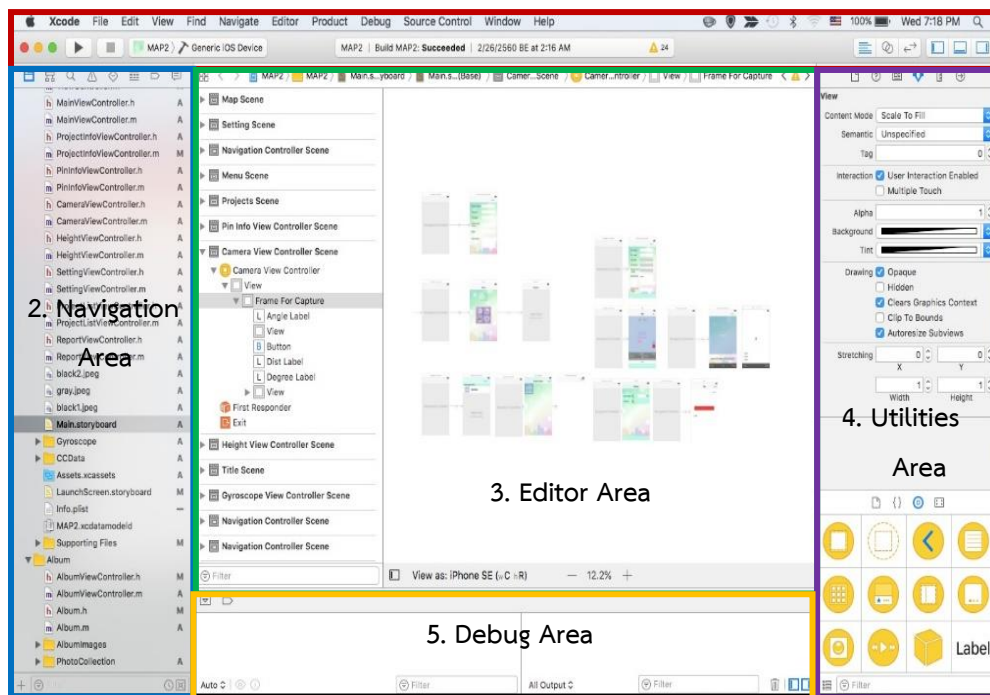
5.4.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทซอฟต์แวร์ (Software)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทซอฟต์แวร์ (Software) สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอสนั้นเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่มีชื่อว่า Xcode โดยทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์อีกชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่า iOS Simulator เพื่อจำลองการทำงานของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตดังรูป 5.21 และ รูป 5.22



รูป 5.21 แสดงหน้าแรกของโปรแกรมประยุกต์ Xcode

1. Toolbar Area



รูป 5.22 แสดงหน้าการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ Xcode

จากรูป 5.22 แบ่งพื้นที่หน้าจอการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ Xcode ประกอบด้วย 5 พื้นที่หลัก ดังนี้

1) Toolbar Area

ในพื้นที่ส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ส่วนที่ใช้งานบ่อยๆ ได้แก่ ปุ่มเล่น ปุ่มหยุด การจัดการหน้าต่างของ Xcode การ ปิด/เปิด Debug Area และการรายงานผลของการประมวลผลข้อมูล

2) Navigation Area

รายละเอียดในพื้นที่ส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของผู้ใช้ โดยมีส่วนประกอบหลัก Project Navigator, Symbol Navigator, Search Navigator, Issue Navigator, Debug, Breakpoint Navigator และ Log Navigator

3) Editor Area

เป็นพื้นที่สำหรับไว้เขียนโปรแกรมหรือแสดงผลหน้าต่างอื่น ขึ้นอยู่กับการเลือกข้อมูลใน Navigation Area

4) Debug Area

ในพื้นที่ส่วนนี้จะแสดงผลเมื่อผู้ใช้งานทำการ Debug โปรแกรม

5) Utility Area

รายละเอียดในพื้นที่ส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับทางเลือกข้อมูลใน Navigation Area

หลักการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ Xcode ประกอบด้วยข้อมูล 4 ประเภทที่แสดงใน Project Navigator ดังนี้

1) Header File (.h)

เป็นหน้าต่างสำหรับการประกาศคลาสและวิธีของชื่อข้อมูล โดยทั่วไปแล้วจะมีชื่อเดียวกับคลาสที่ประกาศ เช่น หากผู้ใช้ประกาศคลาสชื่อ Camera ชื่อ Header File จะมีชื่อว่า Camera.h

2) Source File (.m)

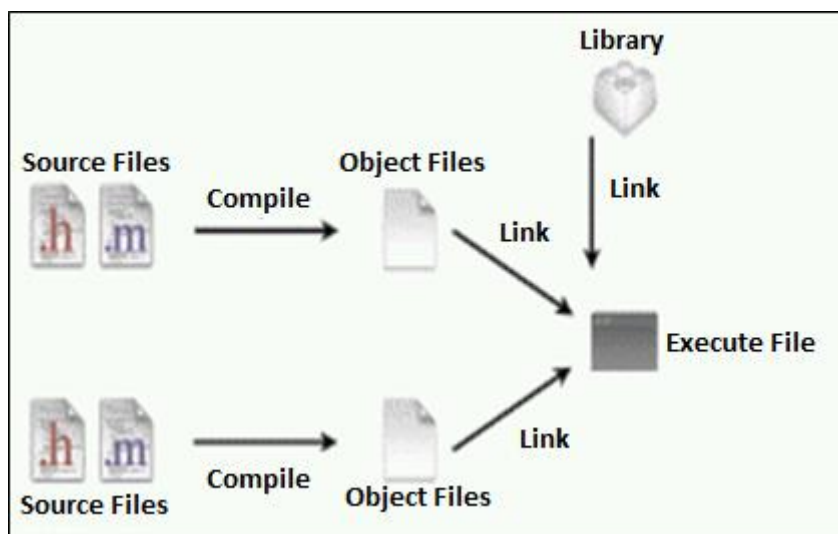
เป็นหน้าต่างสำหรับเขียนหรือแก้ไขการทำงานของคลาสที่เคยประกาศไว้ใน Header File โดยจะมีชื่อเดียวกับคลาสที่ประกาศเช่นกัน เช่น ผู้ใช้ประกาศคลาสชื่อ Camera ใน header File ชื่อ Source File จะมีชื่อว่า Camera.m

3) Framework & Library

เป็นชุดข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบการเขียน

4) ผลลัพธ์

ขั้นตอนการประมวลผลของโปรแกรมจะเกิดขึ้นเมื่อใช้คำสั่ง Build หรือกดปุ่ม Run ข้อมูล Header (.h) และ Prefix Header (.pch) จะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลขั้นต้น และหลังจากนั้นข้อมูล Source (.m) จะถูกประมวลด้วย GCC หรือ LLVM เมื่อการประมวลผลทั้งหมดจบลงจะได้ข้อมูล Object Files (.o) ของแต่ละข้อมูล Source (.m) จากนั้นจะนำ Object Files (.o) และ Library จนได้ผลลัพธ์ข้อมูล Execute File ดังรูป 5.23



รูป 5.23 แสดงการทำงานของ XCode (Macfeteria, 2012)

5.4.3 ภาษาคอมไพเตอร์

ภาษาคอมไพเตอร์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส คือ ภาษา Objective-C

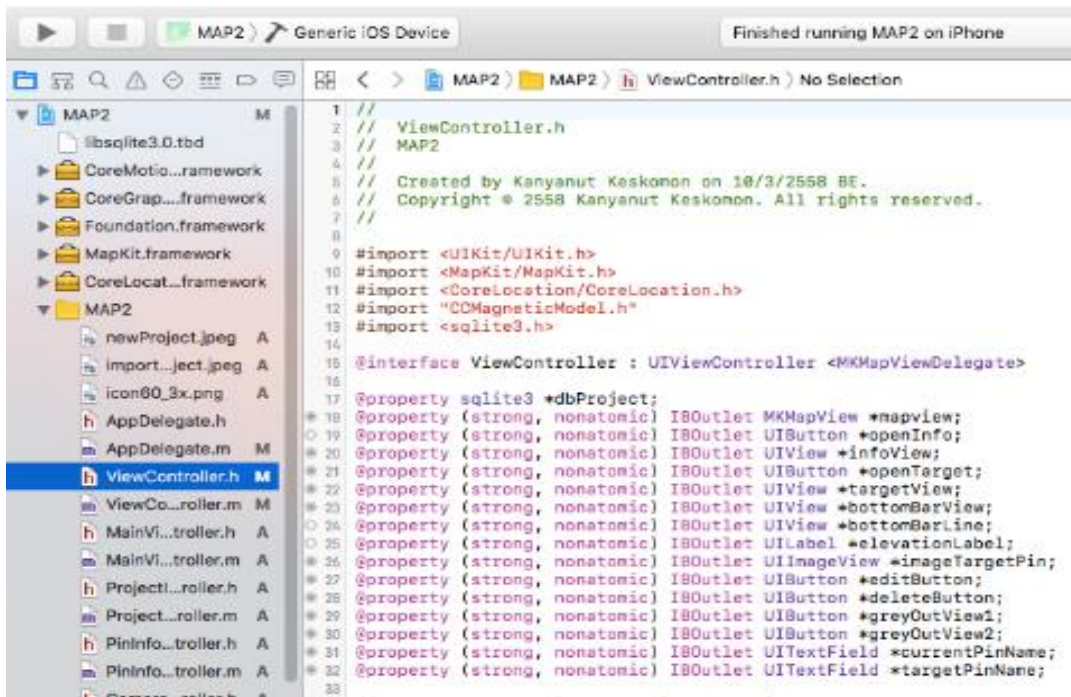
5.5 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

5.5.1 การวางแผนระบบ

จากปัญหาและข้อจำกัดตามที่ได้กล่าวไว้ในบทก่อนหน้า ทำให้นำระบบและตัวรับสัญญาณต่างๆ บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตตั้งหัวข้อ 5.2 เข้ามาใช้เพื่อพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม โดยมีชื่อโปรแกรมประยุกต์ว่า ConOHM

ระบบการทำงานในโปรแกรมประยุกต์ ConOHM ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม เช่น รายละเอียดโครงการ แผนที่ทางภูมิศาสตร์ และตำแหน่งของหมุดบนแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูงพื้นดินจากดาวเทียม เป็นต้น



รูป 5.24 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมเรียกข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากดาวเทียม
ViewController.h

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด โดยใช้ข้อมูลที่เก็บไว้ในส่วนที่หนึ่ง ประกอบกับค่าที่ได้จากการวัดมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัด ซึ่งสามารถนำไปเข้าสมการที่เขียนไว้ในระบบด้วยฟังก์ชัน If-Then-Else โดยแบ่งออกเป็น 7 กรณี ดังนี้

- 1) กรณีที่ตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด
- 2) กรณีที่ตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย
- 3) กรณีที่ตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม
- 4) กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย
- 5) กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

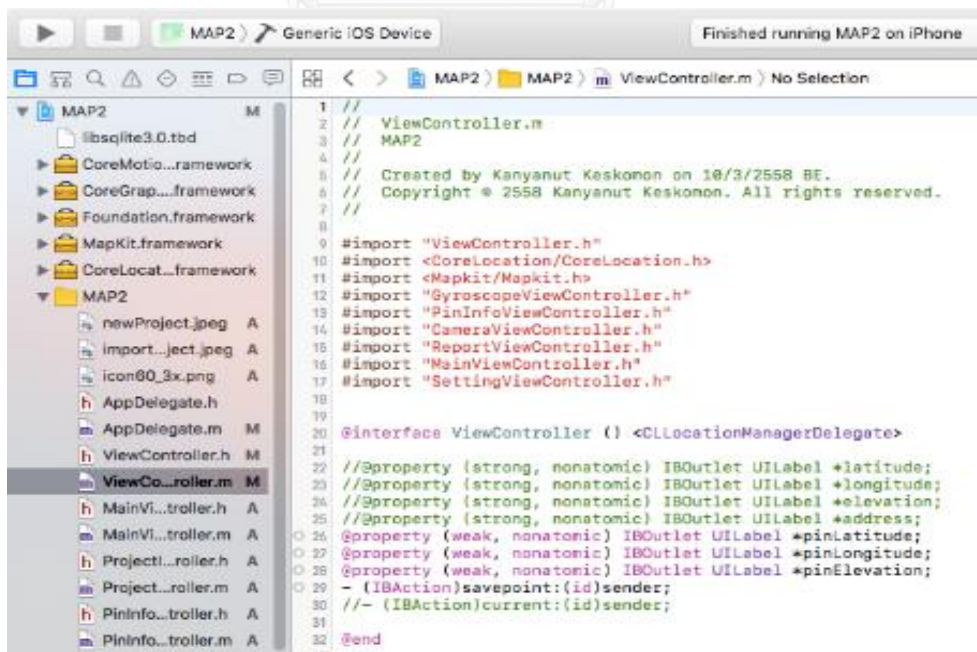
6) กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย

7) กรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยตำแหน่งพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าตำแหน่งพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนการสร้างรายงานข้อมูลและรูปภาพ โดยระบบจะดึงข้อมูลทั้งหมดที่ผู้ใช้บันทึกและเปลี่ยนแปลงมาสร้างเป็นรายงานในรูปของตาราง และภาพถ่ายหน้าจอ รวมถึงสามารถส่งออกข้อมูลด้วยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ต

5.5.2 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอสใช้โปรแกรมชื่อ Xcode ในการเขียน โดยโปรแกรม Xcode นี้เป็นโปรแกรมที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายหากโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาเป็นโปรแกรมอย่างง่ายที่ใช้เพียงระบบพื้นฐาน โดยจะสามารถทดสอบการใช้งานจริงด้วยโปรแกรมที่ชื่อ iOS Simulator อย่างไรก็ตามหากโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาต้องใช้ระบบที่มีความซับซ้อน และจำเป็นต้องทดสอบการใช้งานผ่านทางสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตเท่านั้น ผู้พัฒนาจะต้องเสียค่าสมัครสมาชิกรายปี



```

1 //
2 // ViewController.m
3 // MAP2
4 //
5 // Created by Kanyanut Keskonon on 10/3/2558 BE.
6 // Copyright © 2558 Kanyanut Keskonon. All rights reserved.
7 //
8 //
9 #import "ViewController.h"
10 #import <CoreLocation/CoreLocation.h>
11 #import <MapKit/MapKit.h>
12 #import "GyroscopeViewController.h"
13 #import "PinInfoViewController.h"
14 #import "CameraViewController.h"
15 #import "ReportViewController.h"
16 #import "MainViewController.h"
17 #import "SettingViewController.h"
18
19
20 @interface ViewController () <CLLocationManagerDelegate>
21
22 //@property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *latitude;
23 //@property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *longitude;
24 //@property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *elevation;
25 //@property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *address;
26 @property (weak, nonatomic) IBOutlet UILabel *pinLatitude;
27 @property (weak, nonatomic) IBOutlet UILabel *pinLongitude;
28 @property (weak, nonatomic) IBOutlet UILabel *pinElevation;
29 - (IBAction)savepoint:(id)sender;
30 // - (IBAction)current:(id)sender;
31
32 @end

```

รูป 5.25 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมเรียกข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากดาวเทียม

ViewController.m


```

1 //
2 // HeightViewController.h
3 // MAP2
4 //
5 // Created by Kanyanut Keskonon on 4/18/2559 BE.
6 // Copyright © 2559 Kanyanut Keskonon. All rights reserved.
7 //
8
9 #import <UIKit/UIKit.h>
10 #import <AVFoundation/AVFoundation.h>
11 #import <CoreLocation/CoreLocation.h>
12 #import <sqlite3.h>
13
14 @interface HeightViewController : UIViewController <CLLocationManagerDelegate>
15
16 @property sqlite3 *dbProject;
17 @property (strong, nonatomic) UIImage *captureImage;
18 @property (strong, nonatomic) IBOutlet UIImageView *captureImageView;
19 @property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *heightLabel;
20 @property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel *height2Label;
21
22 @property double distance;
23 @property NSMutableArray *allPinInformation;
24 @property NSMutableDictionary *firstPinInfo;
25 @property NSMutableDictionary *secondPinInfo;
26 @property double angle;
27 @property double altitude;
28 @property int projectID;

```

รูป 5.26 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมคำนวณแยกกรณีชื่อ HeightViewController.h

```

49 double elevation2 = [elevationString2 doubleValue];
50 double elevationDiff = elevation1 - elevation2;
51 double userHeight = [[[NSUserDefaults standardUserDefaults] objectForKey:@"userHeight"] doubleValue];
52 if (userHeight == 0) {
53     userHeight = 170;
54 }
55 userHeight = (userHeight-10)*0.01;
56 //angle = angle*M_PI/180;
57 //case1
58 if (elevationDiff > 0 && angle >= 0) {
59     height = (distance*tan(angle*M_PI/180)) + userHeight - elevationDiff;
60     height2 = (distance*tan(angle*M_PI/180)) + altitude - elevationDiff;
61 }
62 //case2
63 else if (elevationDiff < 0 && angle > 0) {
64
65     height = (distance*tan(angle*M_PI/180)); // + userHeight - elevationDiff;
66     height2 = (distance*tan(angle*M_PI/180)) + altitude - elevationDiff;
67 }
68 //case3
69 else if (elevationDiff > 0 && angle < 0) {
70     height = userHeight + elevationDiff - (distance*tan(-angle*M_PI/180));
71     height2 = altitude + elevationDiff - (distance*tan(-angle*M_PI/180));
72 }
73 }
74 if (userHeight == 0) {
75     heightLabel.text = [NSString stringWithFormat:@"%f", height2];
76     targetHeight = height2;
77 }
78 else {
79     heightLabel.text = [NSString stringWithFormat:@"%f", height];
80     targetHeight = height;
81 }
82 // heightLabel.text = [NSString stringWithFormat:@"%f", height];
83 // height2Label.text = [NSString stringWithFormat:@"%f", height2];
84
85
86

```

รูป 5.27 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมคำนวณแยกกรณีชื่อ HeightViewController.m

```

1 //
2 // ReportViewController.h
3 // MAP2
4 //
5 // Created by Kanyanut Keskonon on 6/21/2559 BE.
6 // Copyright © 2559 Kanyanut Keskonon. All rights reserved.
7 //
8
9 #import "ViewController.h"
10 #import <MessageUI/MessageUI.h>
11 #import <sqlite3.h>
12
13 @interface ReportViewController : UIViewController <MFMailComposeViewControllerDelegate>
14
15 @property sqlite3 *dbProject;
16 - (IBAction)shaze:(id)sender;
17
18 @property int projectID;
19 @property (strong, nonatomic) IBOutlet UIPageControl* pageControl;
20 @property (strong, nonatomic) IBOutlet UILabel* screenNumber;
21
22 - (IBAction)changeScreen:(id)sender;
23 - (IBAction)didClickOpenPDF;
24
25 @end

```

รูป 5.28 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมสร้างรายงาน ReportViewController.h

```

1 //
2 // ReportViewController.m
3 // MAP2
4 //
5 // Created by Kanyanut Keskonon on 6/21/2559 BE.
6 // Copyright © 2559 Kanyanut Keskonon. All rights reserved.
7 //
8
9 #import "ReportViewController.h"
10 #import <QuartzCore/QuartzCore.h>
11
12 @interface ReportViewController ()
13
14 @end
15
16 @implementation ReportViewController {
17     CGSize _pageSize;
18     NSString *projectNameStr;
19
20     NSMutableArray *pinNameArray;
21     NSMutableArray *pinTypeArray;
22     NSMutableArray *latitudeArray;
23     NSMutableArray *longitudeArray;
24     NSMutableArray *groundLevelArray;
25     NSMutableArray *noteArray;
26     NSMutableArray *obstructionArray;
27     NSMutableArray *heightArray;
28
29     int pinCount;
30     int j;
31
32     UIWebView *webViewObj;
33
34     NSInteger heightPinName;
35     NSInteger heightPinType;
36     NSInteger heightNote;
37     NSInteger cellsHeight;

```

รูป 5.29 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการเขียนโปรแกรมสร้างรายงาน ReportViewController.m

โปรแกรมประยุกต์ ConOHM มีผังการทำงานของระบบดังรูป 5.31 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างโครงการ (New Project)

การสร้างโครงการในโปรแกรมประยุกต์มี 2 ส่วน คือ

1.1) สร้างโครงการใหม่ โดยการสร้างโครงการใหม่ ผู้ใช้ต้องระบุตัวแปรที่สำคัญเพื่อให้โปรแกรมประยุกต์รับทราบข้อมูลดังนี้

- ชื่อโครงการ (Project Name)
- สถานที่ (Location)
- บริษัท (Company)
- ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการหรือชื่อผู้ใช้ (Responsible Person)
- วันที่สร้างโครงการ (Date)
- รายละเอียดอื่น (Description)

ข้อมูลทั้งหมดข้างต้นจะใช้เพื่อสร้างหัวกระดาษรายงานการสำรวจที่ระบบสามารถทำได้ โดยผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม ยังมีส่วนที่ผู้ใช้ต้องใส่ค่าให้โปรแกรมประยุกต์คือความสูงของผู้ใช้ เพื่อให้ระบบนำไปปรับแต่งค่า E_1 และ C ในสูตรหัวข้อ 5.3.2.2

1.2) เรียกข้อมูลโครงการที่มีอยู่แล้ว ซึ่งข้อแตกต่างของการเรียกข้อมูลโครงการที่มีอยู่แล้วคือผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องใส่ค่าตัวแปรข้างต้นใหม่ โปรแกรมประยุกต์สามารถดึงได้จากฐานข้อมูลเดิมที่มีอยู่ แต่ผู้ใช้ก็สามารถแก้ไขข้อมูลได้

2) ระบุตำแหน่งที่ต้องการ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1) ตำแหน่งของผู้ใช้ โดยระบบจะได้ตำแหน่งของผู้ใช้จากระบบ GPS ของสมาร์ทโฟนผ่านการปักหมุดลงบนสัญลักษณ์ตำแหน่งปัจจุบัน ซึ่งค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดที่สนใจ

2.2) ตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัด โดยระบบจะรับข้อมูลตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัดจากพิกัดที่ผู้ใช้กำหนดผ่านระบบ GPS ของสมาร์ทโฟน ผู้ใช้ยังสามารถบันทึกข้อความช่วยจำหรือรายละเอียดอื่นๆ เพิ่มเติมได้ เช่น ลักษณะของจุด เป็นต้น

เมื่อผู้ใช้ระบุตำแหน่งของผู้ใช้และสิ่งที่ต้องการวัดลงไปแล้ว โปรแกรมประยุกต์จะส่งคำร้องไปยังเซิร์ฟเวอร์หลักของ Google Map เพื่อดึงข้อมูลตำแหน่งพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความ

สูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นดินของทั้ง 2 จุด จากนั้นนำมาเข้าสู่สูตร (1) ถึง (5) ในหัวข้อ 5.3.2 เพื่อหา ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด เป็นค่า D ในหัวข้อ 5.3.2.2 และจะใช้ไปคำนวณหาความสูงของสิ่ง ที่ต้องการวัดที่สนใจต่อไป

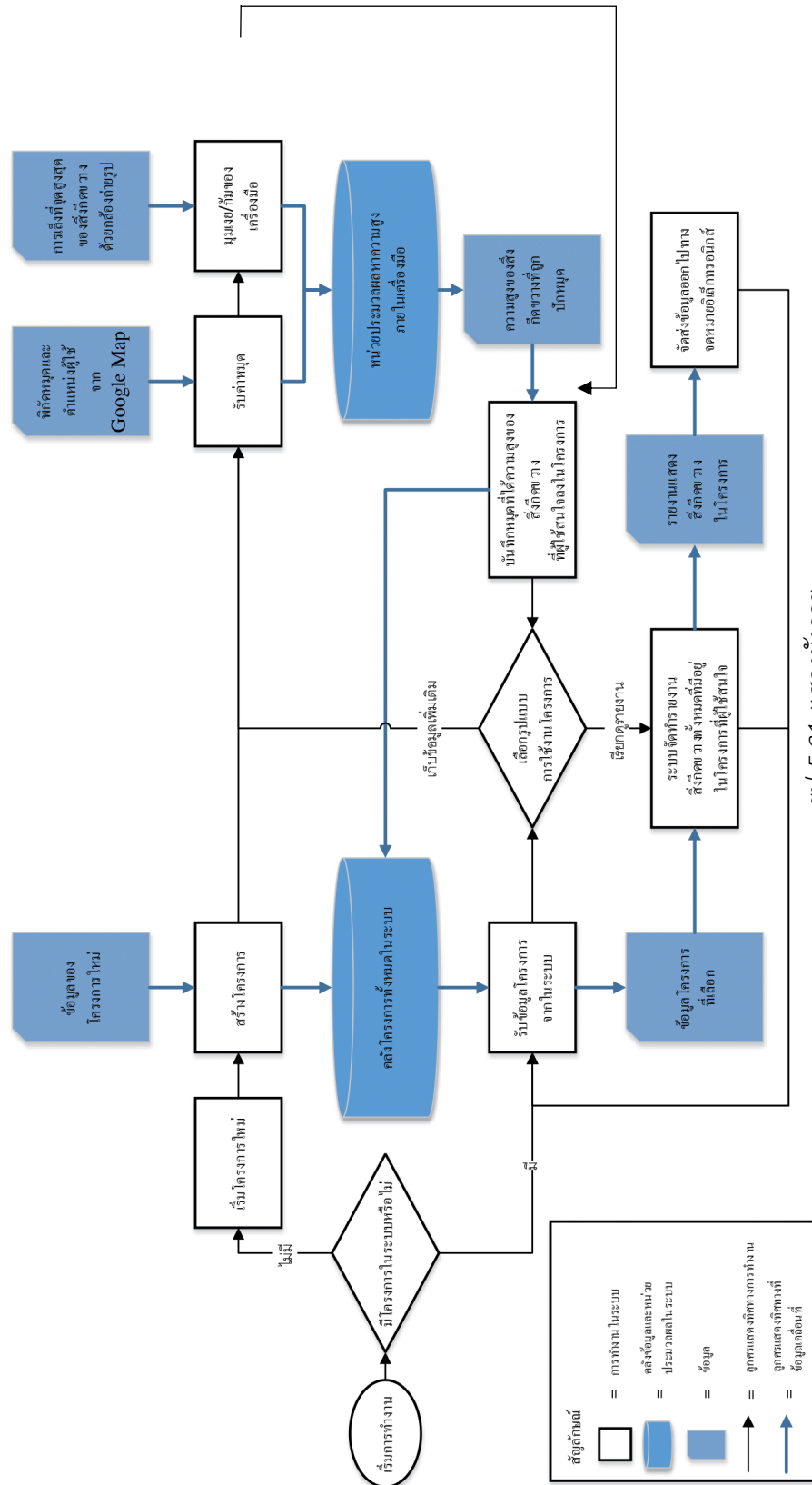
3) รับค่ามุมดิ่งจากผู้ใช้

ในขั้นตอนนี้ระบบจะรับค่ามุมจากมุมที่เลนส์กล้องของสมาร์ทโฟนทำกับยอดของสิ่ง ที่ต้องการวัด โดยมุมที่ได้จะถูกใช้แทนเป็นค่า θ ในหัวข้อ 5.3.2.2

นอกจากนี้ระบบยังใช้ความแตกต่างของความสูงทั้ง 2 จุด เพื่อเลือกใช้สูตรการ คำนวณความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดในหัวข้อ 5.3.2.2 โดยแบ่งออกเป็น 4 กรณี ได้แก่

- 3.1) ผู้ใช้ยืนอยู่บนพื้นดิน และมุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบเป็นมุมเฉย
- 3.2) ผู้ใช้ยืนอยู่บนพื้นดิน และมุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบเป็นมุมก้ม
- 3.3) ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน และมุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบเป็นมุมเฉย
- 3.4) ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน และมุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบเป็นมุมก้ม

รูป 5.30 แสดงหน้าต่างบันทึกรายละเอียดโครงการของโปรแกรมประยุกต์



รูป 5.31 แสดงผังการ



รูป 5.32 แสดงหน้าต่างแผนที่ทางภูมิศาสตร์



รูป 5.33 แสดงหน้าต่างรับค่ามุมตั้งของจุดสูงสุดของสิ่งที่ต้องการวัด

4) บันทึกหมวดที่มีข้อมูลต่างๆ ในระบบ

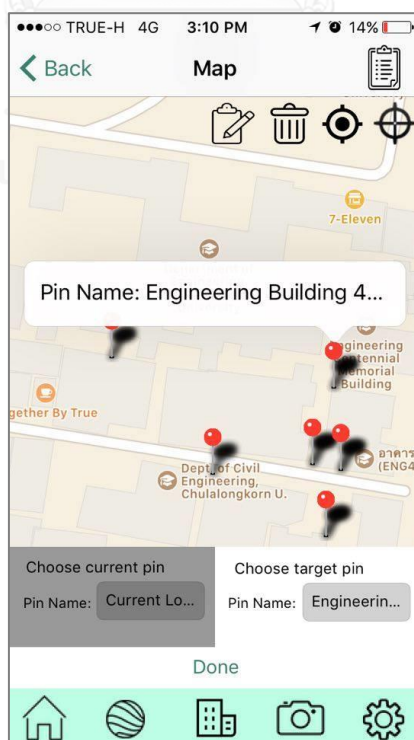
เมื่อได้ค่าความสูงและพิกัดต่างๆ มาแล้ว ผู้ใช้สามารถเลือกที่จะเก็บข้อมูลหมวดของสิ่งที่ต้องการวัดนั้นไว้โครงการได้โดยการกดปุ่มบันทึก ซึ่งระบบจะทำการบันทึกข้อมูลของพิกัดจุดนั้นๆ ลงไปในโครงการ เพื่อนำไปแสดงค่าในรายงานที่โปรแกรมประยุกต์สามารถจัดทำได้

ในขั้นตอนนี้ หากผู้ใช้ต้องการบันทึกหมวดเพิ่มเติม ระบบจะทำการเปิดหน้าต่างบันทึกหมวดเพิ่มเติมขึ้นมา โดยแสดงหมวดที่มีอยู่เดิมก่อนแล้วด้วย ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกที่จะปักหมวดใหม่หรือเข้าไปแก้ไขค่าที่จัดบันทึกไว้ในหมวดที่เคยทำงานไปแล้วได้

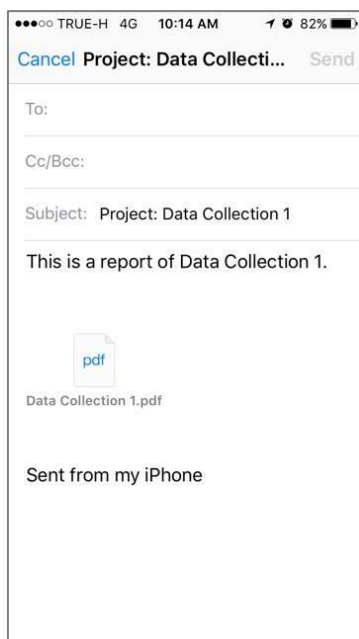
5) แสดงรายงาน

เมื่อผู้ใช้เลือกให้โปรแกรมประยุกต์แสดงรายงานของโครงการออกมา โปรแกรมประยุกต์จะสร้างตารางมีหัวข้อจากส่วนต่างๆ ในคลังข้อมูลของโครงการนั้นๆ ในระบบขึ้นมา เช่น นำชื่อโครงการและรายละเอียดอื่นๆ มาเป็นหัวรายงาน จากนั้นจะแสดงพิกัดหมวดที่มีอยู่ในโครงการนั้นๆ ทั้งหมด แยกเป็นแต่ละแถว โดยในแต่ละแถวจะแสดงค่าเฉพาะตัวของหมวดนั้นๆ เช่น ชื่อหมวด ชนิดของหมวด ความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดที่หมวดนั้น เป็นต้น

ผู้ใช้อยังสามารถส่งออกรายงานออกมาจากโปรแกรมประยุกต์ เข้าไปยังกล่องจดหมายเข้าของจดหมายอิเล็กทรอนิกส์อื่นได้อีกด้วย



รูป 5.34 แสดงหน้าต่างแผนที่ของโครงการที่มีหมวดบันทึกอยู่



รูป 5.35 แสดงหน้าต่างส่งออกรายงานด้วยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ต



Project Name: Data Collection 1 Date: 12/1/2017
 Responsible Person: Kanyanut Keskomon
 Location: Chulalongkorn University
 Note:

| Pin Name | Pin Type | Latitude | Longitude | Ground Level Height | Obstruction Height | Note |
|----------------------------|------------------|-----------|------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Engineering Building 4 (3) | Building | 13.735828 | 100.533630 | 16.401630 | 106.522664 | For Current Location3 |
| Current Location2 | Current Location | 13.735489 | 100.533695 | 15.656672 | | |
| Engineering Building 4 (2) | Building | 13.735802 | 100.533769 | 15.980844 | 106.101842 | For Current Location2 |
| Engineering Building 4 (1) | Building | 13.736190 | 100.533734 | 15.606467 | 106.285617 | For Current Location1 |
| Current Location3 | Current Location | 13.735783 | 100.533146 | 17.987564 | | |
| No.6 | | 13.735835 | 100.532803 | 16.152864 | 28.810323 | |
| No.7 | | 13.736147 | 100.532845 | 16.578249 | | |
| No.8 | | 13.735965 | 100.532241 | 14.340626 | | |
| No.9 | | 13.736403 | 100.532880 | 16.801229 | | |

รูป 5.36 แสดงพิกัดต่างรายการงาน

5.6 สรุป

สำหรับบทที่ 5 ได้แสดงถึงการทดสอบวัดความสูงสิ่งที่ต้องการวัดด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง หลักการและวิธีได้มาของสูตรที่ใช้ในโปรแกรมประยุกต์ ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำหน้าตาต่างๆ และขั้นตอนการทำงานของระบบ สำหรับหลักการคำนวณนั้น ได้มาจากหลักการคำนวณตรีโกณมิติแบบประยุกต์ โดยผู้ใช้อาจระบุความสูงของผู้ใช้เพื่อเป็นความสูงอ้างอิงจากตำแหน่งที่ยืนอยู่นอกจากนี้ยังต้องทำการเล็งยอดของอาคารหรือสิ่งที่ต้องการวัด เพื่อให้สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตได้ทราบถึงมุมเงยที่เกิดขึ้นผ่านตัวรับค่าที่เป็นการทำงานภายในของสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตเอง ส่วนการคำนวณระยะทางระหว่างผู้ใช้และจุดที่สนใจนั้นทางโปรแกรมประยุกต์สามารถหาค่าได้จากพิกัดละติจูด และลองจิจูดที่สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตรับค่าจากดาวเทียมได้โดยตรงมาแปลค่าเป็นระยะทาง จากนั้นระบบจะนำไปเข้าสู่สูตรที่บรรจุอยู่ในโปรแกรมประยุกต์เพื่อคำนวณหาความสูง โดยผู้สนใจสามารถศึกษาหลักการและตัวอย่างการคำนวณได้ที่หัวข้อ 5.3

ส่วนขั้นตอนการออกแบบและจัดทำหน้าตาต่างๆ และขั้นตอนการทำงานของระบบต้องมีการวางแผนอย่างเป็นระบบเพื่อให้โปรแกรมประยุกต์สามารถรับค่าที่จำเป็นทั้งหมดมาจากผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ความคิดเห็นของผู้ใช้ก็ยังเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้โปรแกรมประยุกต์นั้นใช้งานได้ง่ายที่สุด ในขณะที่ได้ค่าที่ถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้จริง

บทที่ 6

การทดสอบและการใช้งานจริง

6.1 บทนำ

เมื่อโปรแกรมประยุกต์พร้อมใช้งานแล้ว เพื่อให้ผู้ใช้สามารถมั่นใจได้ว่าโปรแกรมประยุกต์มีความถูกต้อง การทดสอบจึงต้องถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์ว่ามีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด จากนั้นจึงถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำงานแบบดั้งเดิม ทั้งเวลาที่ใช้และความถูกต้อง นอกจากนี้ยังได้มีการเก็บความคิดเห็นและข้อเสนอของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้งานโปรแกรมประยุกต์ เพื่อนำมาปรับให้โปรแกรมประยุกต์เข้าถึงผู้ใช้ได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

โดยในบทที่ 6 นี้จะถูกแบ่งออกเป็นทั้งหมด 1) บทนำ 2) รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทำการสำรวจ 3) การทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูง 4) การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำ 4) การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำ 5) ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 6) การสำรวจความสูงด้วยอุปกรณ์และโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ 7) การเปรียบเทียบผลการสำรวจความสูงของอุปกรณ์ประเภทต่างๆ 8) การทดสอบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนโดยกลุ่มตัวอย่าง และ 9) สรุป

6.2 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทำการสำรวจ

การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม โดยจะทดสอบเมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ถึงขั้นตอนที่สามารถดึงข้อมูลแผนที่ภูมิศาสตร์และกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียมได้ และส่วนที่ 2 ทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด หลังจากพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เสร็จสิ้น

6.2.1 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทำการทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม

การทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียมกับหอดูดาวกรม CU 09 ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูป 6.1 โดยได้ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีค่าพิกัดละติจูด $13^{\circ}44'16.99''$ และ ลองจิจูด $100^{\circ}31'05.88''$



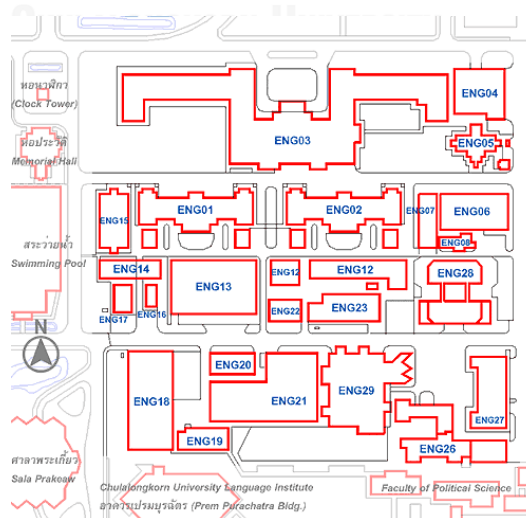
(ก)

(ข)

รูป 6.1 แสดงตำแหน่งของหมุดควบคุม CU 09

6.2.2 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ที่ทำการทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด

ในงานวิจัยนี้ได้สำรวจความสูงของอาคารต่างๆ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม อาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4) อาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี อาคารอนุศาสน์รัตนธรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5) และอาคารจักรพงษ์ (หอประวัต) ดังรูป 6.2 และเปรียบเทียบผลที่รับกับความสูงของอาคารตามแบบก่อสร้าง เพื่อหาความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล และความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล รวมถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์และการสำรวจด้วยกล้องสำรวจ



รูป 6.2 แผนที่บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, <http://www.eng.chula.ac.th/map>

ตาราง 6.1 แสดงรหัสอาคารประกอบแผนผังคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ลำดับ | รหัสในแผนผังรูป 6.2 | ชื่ออาคาร |
|-------|------------------------|---|
| 1 | ENG 01 | อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 1 |
| 2 | ENG 02 | อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 2 |
| 3 | ENG 03 | อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 3 |
| 4 | ENG 04 | โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 5 | ENG 05 | อาคารอรุณ สรเทศน์ (สมาคมนิสิตเก่าวิศวกรรม) |
| 6 | ENG 06 | อาคารกิจการนิสิต |
| 7 | ENG 07 | อาคารโคลัมโบ |
| 8 | ENG 08 | สุขานิสิตชาย / หญิง (ห้องน้ำสามแสน) |
| 9 | ENG 11 | อาคารฮันส์ บันตลี |
| 10 | ENG 12 | อาคารสลับ ลดาวัลย์ |
| 11 | ENG 13 | อาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม |
| 12 | ENG 14 | อาคารชาร์ลเอ็มสัน เกเวอร์ต |
| 13 | ENG 15 | อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 14 | ENG 16 | อาคารที่พักอาจารย์วิศวกรรมไฟฟ้า |
| 15 | ENG 17 | ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอมพิวเตอร์ |
| 16 | ENG 18 | อาคารปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) |
| 17 | ENG 19 | อาคารศัลวิธานนิเทศ (ตีวิศวกรรมสำรวจ) |
| 18 | ENG 20 | อาคารปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างขนาดจริง |
| 19 | ENG 21 | อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาและภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม |
| 20 | ENG 22 | อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ |

ตาราง 6.1 แสดงรหัสอาคารประกอบแผนผังคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

| ลำดับ | รหัสในแผนผังรูป 6.1 | ชื่ออาคาร |
|-------|------------------------|--|
| 21 | ENG 23 | อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล |
| 22 | ENG 26 | อาคารสี่ภาควิชา (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมเคมี และวิศวกรรมโลหการ) |
| 23 | ENG 27 | อาคารภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี |
| 24 | ENG 28 | อาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4) |
| 25 | ENG 29 | อาคารอนุศาสน์ยันตรกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5) |
| 26 | หอประวัตติ | อาคารจักรพงษ์ |

6.2.2.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 5 ชั้น พื้นที่อาคาร 6,940.48 ตารางเมตร ดังรูป 6.3



รูป 6.3 รายละเอียดอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

6.2.2.2 อาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4)

อาคารเจริญวิศวกรรมเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 20 ชั้น พื้นที่อาคาร 23,244.81 ตารางเมตร ดังรูป 6.4



รูป 6.4 รายละเอียดอาคารเจริญวิศวกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 4)

6.2.2.3 อาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

อาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 3 ชั้น พื้นที่อาคาร 1,922.38 ตารางเมตร ดังรูป 6.5



รูป 6.5 รายละเอียดอาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

6.2.2.4 อาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5)

อาคารอนุสาสน์ยันตรกรรมเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 5 ชั้น พื้นที่อาคาร 9,570.37 ตารางเมตร ดังรูป 6.6



รูป 6.6 รายละเอียดอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม (วิศวกรรมศาสตร์ 5)

6.2.2.5 อาคารจักรพงษ์ (หอประวัติ)

อาคารจักรพงษ์ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 2 ชั้น พื้นที่อาคาร 513.1 ตารางเมตร ดังรูป 6.7

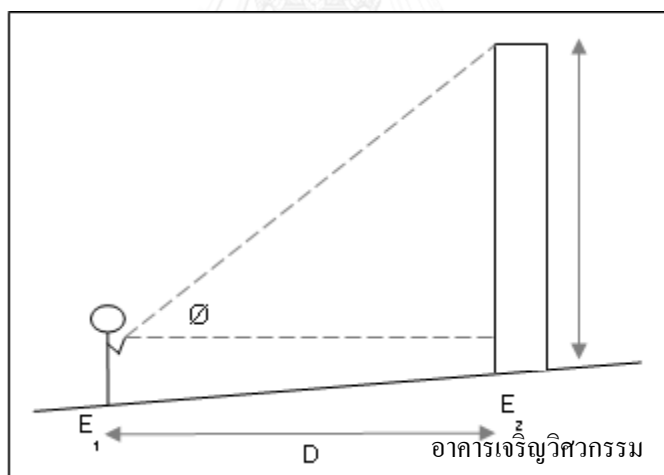


รูป 6.7 รายละเอียดอาคารจักรพงษ์ (หอประวัติ)

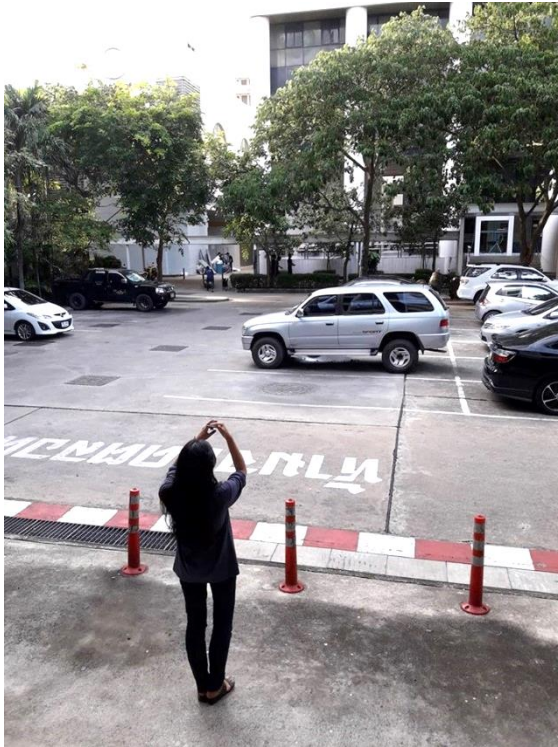
6.3 การทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูง

จากหัวข้อ 5.3.2.2 ได้มีการกล่าวถึงกรณีที่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้จากการใช้โปรแกรมรังวัด ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องในการรังวัดจึงต้องมีการทดสอบสูตรที่ใช้ในการหาความสูง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบสามารถเลือกใช้สูตรให้ตรงกับกรณีที่เกิดขึ้นจริงในการรังวัดแต่ละครั้ง โดยจากการทดสอบแต่ละกรณี กรณีละ 10 ครั้ง พบว่าระบบสามารถเรียกใช้สูตรได้ถูกต้องตรงตามกรณีที่เกิดขึ้นจริงในการรังวัด และได้ค่าใกล้เคียงกับความสูงของจุดอ้างอิงที่ใช้ทดสอบ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีที่ 4 ถึง กรณีที่ 7 ที่ผู้ทดสอบไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน ซึ่งระบบจะต้องใช้ค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) ของระดับสมาร์ตโฟนมาช่วยในการคำนวณ พบว่ามีค่าความสูงของสิ่งที่วัดได้นั้นไม่คงที่ เนื่องจากตัวรับสัญญาณความถี่ของสมาร์ตโฟนนั้นยังไม่สามารถรับค่าที่แน่นอนได้ ทำให้ค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของระดับสมาร์ตโฟนที่ได้มีค่าไม่คงที่ในแต่ละครั้งของการวัด

ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีในระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย แสดงดังรูป 6.8 ถึง รูป 6.10 ซึ่งเป็นการวัดที่จุดอ้างอิงโดยทราบความสูงจากแบบก่อสร้างของอาคารเจริญวิศวกรรม มีค่าเท่ากับ 107.1 เมตร และได้ผลการทดสอบดังตาราง 6.2



รูป 6.8 แสดงการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีในระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย



รูป 6.9 แสดงตำแหน่งการยืนของผู้ใช้ในการสำรวจความสูงอาคารเจริญวิศวกรรม



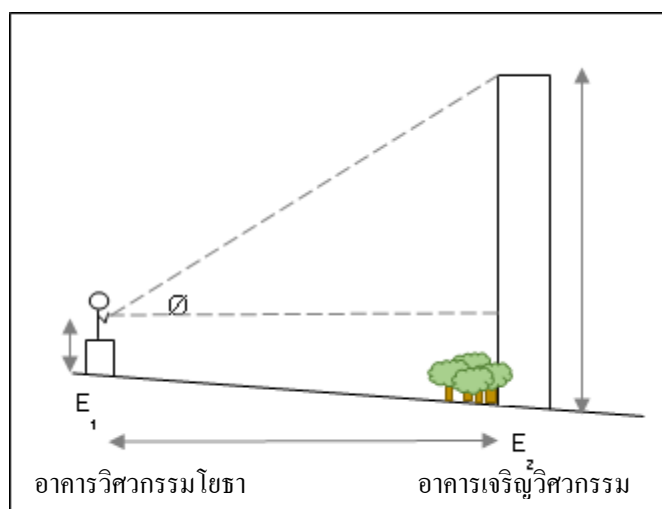
รูป 6.10 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรม

ตาราง 6.2 แสดงการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของลิ่งกีดขวาง และ
 มุมตั้งของจุดที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน มุมเงยอาคารวิศวกรรมเคมี, จุดเป้าหมาย อาคารเจริญวิศวกรรม | | | | | | | | | | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
|----------|---|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------|-----------------------|
| | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.735488 | 100.533703 | 15.63 | 13.735786 | 100.533875 | 15.53 | 37.99 | 70.33 | 108.02 | 0.92 | 0.86 |
| 2 | 13.735489 | 100.533708 | 15.64 | 13.735796 | 100.533820 | 15.83 | 36.22 | 71.58 | 110.20 | 3.10 | 2.90 |
| 3 | 13.735488 | 100.533702 | 15.59 | 13.735788 | 100.533848 | 15.69 | 36.90 | 71.20 | 109.93 | 2.83 | 2.65 |
| 4 | 13.735495 | 100.533697 | 15.64 | 13.735796 | 100.533831 | 15.78 | 36.47 | 71.16 | 108.38 | 1.28 | 1.19 |
| 5 | 13.735494 | 100.533696 | 15.66 | 13.735795 | 100.533826 | 15.81 | 36.30 | 71.37 | 109.16 | 2.06 | 1.92 |
| 6 | 13.735491 | 100.533696 | 15.67 | 13.735792 | 100.533815 | 15.85 | 35.85 | 70.79 | 104.36 | -2.74 | 2.55 |
| 7 | 13.735492 | 100.533696 | 15.67 | 13.735798 | 100.533824 | 15.81 | 36.73 | 70.60 | 105.80 | -1.30 | 1.21 |
| 8 | 13.735485 | 100.533697 | 15.66 | 13.735792 | 100.533833 | 15.78 | 37.16 | 70.66 | 107.41 | 0.31 | 0.29 |
| 9 | 13.735495 | 100.533699 | 15.62 | 13.735790 | 100.533835 | 15.77 | 35.94 | 70.63 | 103.73 | -3.37 | 3.15 |
| 10 | 13.735481 | 100.533704 | 15.64 | 13.735795 | 100.533840 | 15.73 | 37.88 | 70.53 | 108.70 | 1.60 | 1.50 |
| เฉลี่ย | 13.735490 | 100.533700 | 15.64 | 13.735793 | 100.533835 | 15.76 | 36.74 | 70.89 | 107.57 | | 1.82 |

จากผลการทดสอบพบว่าได้ค่าเฉลี่ยของการวัดอยู่ที่ 107.57 เมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละความผิดพลาดเท่ากับ 1.82

ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของสูตรที่ใช้ในการหาความสูงกรณีที่ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าสูงกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย แสดงดังรูป 6.11 ซึ่งเป็นการวัดโดยผู้ใช้อยู่บนดาดฟ้าของอาคารวิศวกรรมโยธา เป็นความสูงประมาณ 25 เมตร และวัดไปยังจุดอ้างอิงโดยทราบความสูงจากแบบก่อสร้างของอาคารเจริญวิศวกรรมเท่ากับ 107.10 เมตร และได้ผลการทดสอบดังตาราง 6.3



รูป 6.11 แสดงกรณีที่ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้ใช้มีค่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของสิ่งที่ต้องการวัด และมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย

จากตาราง 6.3 จะเห็นได้ว่าช่อง Altitude ค่อนข้างผิดพลาดจากความเป็นจริง (ควรได้ความสูงที่ประมาณ 25 เมตรจากพื้นดินของอาคารวิศวกรรมโยธา) และมีค่าไม่คงที่ในการวัดแต่ละครั้ง เนื่องจากตัวรับสัญญาณความดันอากาศที่นำมาคำนวณหาความสูงของระดับสมาร์ตโฟนยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมาก

ตาราง 6.3 แสดงกรณีที่ไม่ได้ขึ้นอยู่บนพื้นดิน โดยระดับพื้นดินของผู้เช่าต่ำกว่าระดับพื้นดินของลิ่งกิตขวาง และมุมตั้งของจุดบนสุดของลิ่งกิตขวางเป็นมุมเงย

| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น ดาดฟ้าอาคารวิศวกรรมโยธา, จุดเป้าหมาย อาคารเจริญวิศวกรรม | | | | | | | | | | |
|----------|--|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอดอาคาร (องศา) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.735815 | 100.532953 | 16.96 | 13.735847 | 100.533650 | 16.32 | 75.37 | 23.00 | 44.79 | 98.47 | 8.06 |
| 2 | 13.735814 | 100.532950 | 16.97 | 13.735849 | 100.533648 | 16.33 | 75.49 | 20.35 | 43.81 | 93.42 | 12.77 |
| 3 | 13.735815 | 100.532954 | 16.92 | 13.735848 | 100.533650 | 16.32 | 75.27 | 21.14 | 43.71 | 93.70 | 12.51 |
| 4 | 13.735819 | 100.532957 | 16.96 | 13.735849 | 100.533650 | 16.36 | 74.93 | 20.30 | 44.14 | 93.62 | 12.59 |
| 5 | 13.735813 | 100.532950 | 16.93 | 13.735844 | 100.533648 | 16.28 | 75.47 | 20.33 | 43.95 | 93.74 | 12.47 |
| 6 | 13.735817 | 100.532947 | 16.92 | 13.735851 | 100.533645 | 16.32 | 75.49 | 20.43 | 43.78 | 93.38 | 12.81 |
| 7 | 13.735811 | 100.532959 | 16.95 | 13.735851 | 100.533657 | 16.29 | 75.53 | 20.70 | 42.97 | 91.72 | 14.36 |
| 8 | 13.735810 | 100.532952 | 16.93 | 13.735852 | 100.533655 | 16.28 | 76.08 | 18.63 | 43.28 | 90.93 | 15.10 |
| 9 | 13.735816 | 100.532954 | 16.93 | 13.735845 | 100.533657 | 16.36 | 76.00 | 19.70 | 43.60 | 92.65 | 13.49 |
| 10 | 13.735813 | 100.532951 | 16.95 | 13.735845 | 100.533651 | 16.31 | 75.69 | 21.89 | 43.65 | 94.74 | 11.54 |
| เฉลี่ย | 13.735814 | 100.532953 | 16.94 | 13.735848 | 100.533651 | 16.31 | 75.53 | 20.65 | 43.77 | 93.64 | 12.57 |

จากผลการทดสอบพบว่าได้ค่าเฉลี่ยของการวัดอยู่ที่ 93.64 เมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละความผิดพลาดเท่ากับ 12.57

6.4 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำ

การทดสอบความแม่นยำแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม เพื่อทดสอบถึงประสิทธิภาพในการระบุพิกัดตำแหน่งของผู้วัดและสิ่งที่ผู้ใช้ต้องการวัด และการทดสอบความแม่นยำของการวัดของสิ่งที่ต้องการ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของระบบ

6.4.1 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม

ผลการใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียมโดยเทียบกับค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากหมุดควบคุม CU 09 ละติจูด $13^{\circ}44'16.99''$ และลองจิจูด $100^{\circ}31'05.88''$ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 10 ครั้ง ดังตาราง 6.4

ตาราง 6.4 แสดงผลการวัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุม CU 09 ด้วยโปรแกรมประยุกต์ และร้อยละความคลาดเคลื่อน

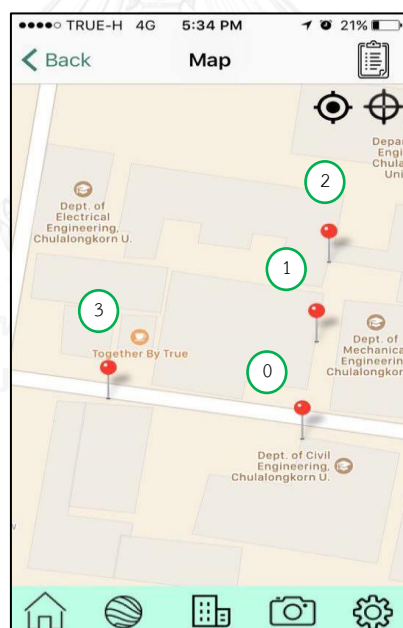
| ลำดับ | ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่วัดได้ | | ร้อยละความคลาดเคลื่อน | |
|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ละติจูด | ลองจิจูด |
| 1 | $13^{\circ}44'16.984''$ | $100^{\circ}31'53.112''$ | 1.29567×10^{-5} | 1.47218×10^{-5} |
| 2 | $13^{\circ}44'16.901''$ | $100^{\circ}31'53.004''$ | 1.80375×10^{-4} | 1.51197×10^{-5} |
| 3 | $13^{\circ}44'16.894''$ | $100^{\circ}31'53.004''$ | 1.94933×10^{-4} | 1.51197×10^{-5} |
| 4 | $13^{\circ}44'16.89''$ | $100^{\circ}31'52.979''$ | 2.02212×10^{-4} | 2.20827×10^{-5} |
| 5 | $13^{\circ}44'16.634''$ | $100^{\circ}31'53.119''$ | 7.19025×10^{-4} | 1.67112×10^{-5} |
| 6 | $13^{\circ}44'16.649''$ | $100^{\circ}31'53.137''$ | 7.33583×10^{-4} | 2.16848×10^{-5} |
| 7 | $13^{\circ}44'16.634''$ | $100^{\circ}31'53.144''$ | 7.19025×10^{-4} | 2.36742×10^{-5} |
| 8 | $13^{\circ}44'16.642''$ | $100^{\circ}31'53.155''$ | 7.04467×10^{-4} | 2.66583×10^{-5} |
| 9 | $13^{\circ}44'16.843''$ | $100^{\circ}31'53.047''$ | 2.9628×10^{-4} | 3.18308×10^{-6} |
| 10 | $13^{\circ}44'16.861''$ | $100^{\circ}31'53.065''$ | 2.6044×10^{-4} | 1.79049×10^{-6} |
| ค่าเฉลี่ย | $13^{\circ}44'16.791''$ | $100^{\circ}31'53.077''$ | 4.0239×10^{-4} | 4.97357×10^{-6} |

6.4.2 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด

การหาค่าความคลาดเคลื่อนและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมประยุกต์ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่มุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย และกรณีที่มุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

6.4.2.1 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดกรณีที่มุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย

การทดสอบทำโดยใช้โปรแกรมประยุกต์สำรวจและบันทึกความสูงของอาคารตั้งแต่สร้างโครงการ วัดความสูง และจัดทำรายงาน ของ 5 อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อหาความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรม โดยทำการวัดที่ระยะห่างต่างกัน 3 ตำแหน่งต่ออาคาร และวัดตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 150 จุด ดังตาราง 6.12 โดย ① แทนตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัด และ ② - ③ แทนตำแหน่งของผู้ใช้ และจุดที่วัดบนอาคารที่ทราบความสูงแน่นอนจากแบบก่อสร้างแสดงดังรูป 6.13 ถึง รูป 6.17



รูป 6.12 ตัวอย่างการวัดความสูงอาคารที่ตำแหน่งต่างๆ

จากนั้นนำผลลัพธ์มาหาความแม่นยำโดยเปรียบเทียบกับแบบก่อสร้างของอาคาร และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้ดังตาราง 6.5 ถึง ตาราง 6.10

ตาราง 6.5 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา และสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมประยุกต์

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด |
|----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 100.532856 | 16.70 | 13.735839 | 100.532799 | 16.13 | 51.08 | 25.86 | 26.95 | 0.95 | 3.65 |
| 2 | 100.532854 | 16.74 | 13.735830 | 100.532802 | 16.14 | 51.57 | 25.56 | 26.88 | 0.88 | 3.40 |
| 3 | 100.532857 | 16.74 | 13.735833 | 100.532797 | 16.12 | 50.90 | 25.82 | 26.87 | 0.87 | 3.33 |
| 4 | 100.532851 | 16.70 | 13.735836 | 100.532800 | 16.14 | 51.67 | 25.45 | 26.77 | 0.77 | 2.96 |
| 5 | 100.532855 | 16.70 | 13.735830 | 100.532802 | 16.12 | 52.46 | 25.33 | 27.03 | 1.03 | 3.97 |
| 6 | 100.532855 | 16.72 | 13.735844 | 100.532799 | 16.14 | 50.95 | 25.76 | 26.79 | 0.79 | 3.03 |
| 7 | 100.532856 | 16.66 | 13.735833 | 100.532797 | 16.16 | 51.77 | 25.81 | 27.16 | 1.16 | 4.45 |
| 8 | 100.532850 | 16.74 | 13.735840 | 100.532804 | 16.16 | 50.62 | 25.99 | 26.88 | 0.88 | 3.37 |
| 9 | 100.532850 | 16.66 | 13.735834 | 100.532811 | 16.20 | 51.21 | 25.74 | 26.77 | 0.77 | 2.96 |
| 10 | 100.532855 | 16.71 | 13.735844 | 100.532799 | 16.14 | 50.95 | 25.79 | 26.81 | 0.81 | 3.12 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 0.89 |

หมายเหตุ: อาคารวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ณ จุดอ้างอิง สูง 26 เมตร



รูป 6.13 แสดงจุดที่ต้องการวัดบนอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

ตาราง 6.6 แสดงสรุปผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วย ConOHM

| ตำแหน่งที่ | ระยะทาง เฉลี่ย (เมตร) | มุมยอดอาคาร เฉลี่ย (องศา) | ความสูงของจุดที่ วัดเฉลี่ย (เมตร) | ผลต่างความสูง เฉลี่ย (เมตร) | ร้อยละความ คลาดเคลื่อน |
|------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| จุดอ้างอิง | | | 26.00 | | |
| 1 | 51.32 | 25.71 | 26.89 | 0.89 | 3.42 |
| 2 | 27.23 | 42.23 | 26.66 | 0.66 | 2.54 |
| 3 | 63.48 | 21.63 | 24.94 | -1.06 | 4.07 |

จากการวัดความสูงของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วย ConOHM 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง มีผลต่างความสูงที่มากกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 1.16 เมตร และน้อยที่สุด 0.41 เมตร ในขณะที่ผลต่างความสูงที่น้อยกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 1.52 เมตร และน้อยที่สุดเท่ากับ 0.06 เมตร โดยแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในภาคผนวก ก



รูป 6.14 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรม

ตาราง 6.7 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรม ด้วย ConOHM

| ตำแหน่งที่ | ระยะทาง เฉลี่ย (เมตร) | มุมยอดอาคาร เฉลี่ย (องศา) | ความสูงของจุด ที่วัดเฉลี่ย (เมตร) | ผลต่างความสูง เฉลี่ย (เมตร) | ร้อยละความ คลาดเคลื่อน |
|------------|--------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| จุดอ้างอิง | | | 107.10 | | |
| 1 | 118.96 | 40.66 | 103.96 | 3.14 | 2.94 |
| 2 | 36.74 | 70.89 | 107.54 | 1.94 | 1.81 |
| 3 | 54.57 | 62.56 | 109.27 | 2.17 | 2.03 |

จากการวัดความสูงของอาคารเจริญวิศวกรรมด้วย ConOHM 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง มีผลต่างความสูงที่มากกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 3.43 เมตร และน้อยที่สุด 1.23 เมตร ในขณะที่ผลต่างความสูงที่น้อยกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 4.14 เมตร และน้อยที่สุดเท่ากับ 2.26 เมตร โดยแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในภาคผนวก ก



รูป 6.15 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีด้วย

ตาราง 6.8 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีด้วย ConOHM

| ตำแหน่งที่ | ระยะทาง เฉลี่ย (เมตร) | มุมยอดอาคาร เฉลี่ย (องศา) | ความสูงของจุด ที่วัดเฉลี่ย (เมตร) | ผลต่างความสูง เฉลี่ย (เมตร) | ร้อยละความ คลาดเคลื่อน |
|------------|-----------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| จุดอ้างอิง | | | 8.50 | | |
| 1 | 13.22 | 27.51 | 8.90 | 0.4 | 4.67 |
| 2 | 19.91 | 20.95 | 9.15 | 0.65 | 7.68 |
| 3 | 72.95 | 5.27 | 10.34 | 1.84 | 21.68 |

จากการวัดความสูงของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีด้วย ConOHM 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง มีผลต่างความสูงที่มากกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 2.05 เมตร และน้อยที่สุด 0.18 เมตร ในขณะที่ไม่มีผลต่างความสูงที่น้อยกว่าความสูงจากแบบก่อสร้าง โดยแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในภาคผนวก ก



รูป 6.16 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรม

ตาราง 6.9 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรมด้วย ConOHM

| ตำแหน่งที่ | ระยะทางเฉลี่ย (เมตร) | มุมยอดอาคารเฉลี่ย (องศา) | ความสูงของจุดที่วัดเฉลี่ย (เมตร) | ผลต่างความสูงเฉลี่ย (เมตร) | ร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| จุดอ้างอิง | | | 35.05 | | |
| 1 | 41.94 | 39.91 | 35.03 | 0.74 | 2.11 |
| 2 | 24.07 | 54.87 | 34.82 | 0.38 | 1.08 |
| 3 | 54.89 | 30.66 | 34.15 | 0.90 | 2.55 |

จากการวัดความสูงของอาคารอนุสาสน์ยันตรกรรมด้วย ConOHM 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง มีผลต่างความสูงที่มากกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 1.05 เมตร และน้อยที่สุด 0.50 เมตร ในขณะที่ผลต่างความสูงที่น้อยกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 1.12 เมตร และน้อยที่สุดเท่ากับ 0.69 เมตร โดยแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในภาคผนวก ก



รูป 6.17 แสดงจุดที่วัดความสูงของอาคารจักรพงษ์

ตาราง 6.10 แสดงผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงของอาคารจักรพงษ์ด้วย ConOHM

| ตำแหน่งที่ | ระยะทาง เฉลี่ย (เมตร) | มุมยอดอาคาร เฉลี่ย (องศา) | ความสูงของจุด ที่วัดเฉลี่ย (เมตร) | ผลต่างความสูง เฉลี่ย (เมตร) | ร้อยละความ คลาดเคลื่อน |
|------------|--------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| จุดอ้างอิง | | | 12.53 | | |
| 1 | 43.67 | 15.42 | 13.59 | 1.06 | 8.44 |
| 2 | 37.47 | 16.18 | 13.48 | 0.95 | 7.59 |
| 3 | 87.64 | 8.80 | 14.09 | 1.56 | 12.47 |

จากการวัดความสูงของอาคารจักรพงษ์ด้วย ConOHM 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 ครั้ง มีผลต่างความสูงที่มากกว่าความสูงจากแบบก่อสร้างมากที่สุดเท่ากับ 1.92 เมตร และน้อยที่สุด 0.39 เมตร ในขณะที่ไม่มีผลต่างความสูงที่น้อยกว่าความสูงจากแบบก่อสร้าง โดยแสดงผลการทดสอบอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

6.4.2.2 การใช้โปรแกรมประยุกต์ทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดกรณีที่มีมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมก้ม

การทดสอบทำโดยใช้โปรแกรมประยุกต์สำรวจและบันทึกความสูงของอาคารตั้งแต่สร้างโครงการ วัดความสูง และจัดทำรายงาน ของอาคารวิศวกรรมโยธา และอาคารเจริญวิศวกรรม ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งกรณีที่มีมุมตั้งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมกม้นั้น กรณีศึกษาส่วนใหญ่ผู้ใช้จะต้องอยู่บนที่สูง เช่น อาคาร สะพานลอย และเขื่อน เป็นต้น เพื่อหาความถูกต้องแม่นยำของโปรแกรม โดยทำการวัดตำแหน่งละ 10 ครั้ง ดังตาราง 6.11 และ ตาราง 6.12

6.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

จากตาราง 6.4 พบว่า ระบบ GIS และ GPS บนสมาร์ตโฟนมีความแม่นยำมากเมื่อเทียบกับค่าพิกัดของหมุดควบคุม โดยมีร้อยละความผิดพลาดของพิกัดละติจูดเท่ากับ 0.0004 ร้อยละความผิดพลาดของพิกัดลองจิจูดเท่ากับ 0.000005

จากตาราง 6.6 ถึง ตาราง 6.10 พบว่า เมื่อระยะทางมากขึ้น ร้อยละความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดเพิ่มขึ้น ร้อยละความคลาดเคลื่อนจะลดลง โดยสามารถแสดงเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อนได้ดังรูป 6.18

การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ในเรื่องของการวัดความสูงของสิ่งที่ต้องการวัด โดยได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสมการการทำนายดังสมการ (11)

$$y = 0.0082x^2 - 0.8183x + 20.703 \quad \text{----- (11)}$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่าความผิดพลาดขึ้นอยู่กับมุมตั้งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัด ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความสูงภายในระบบ เช่น ดังตัวอย่างสมการ (7)

$$H = (D \times \tan \phi) + E_1 - E_2 + C$$

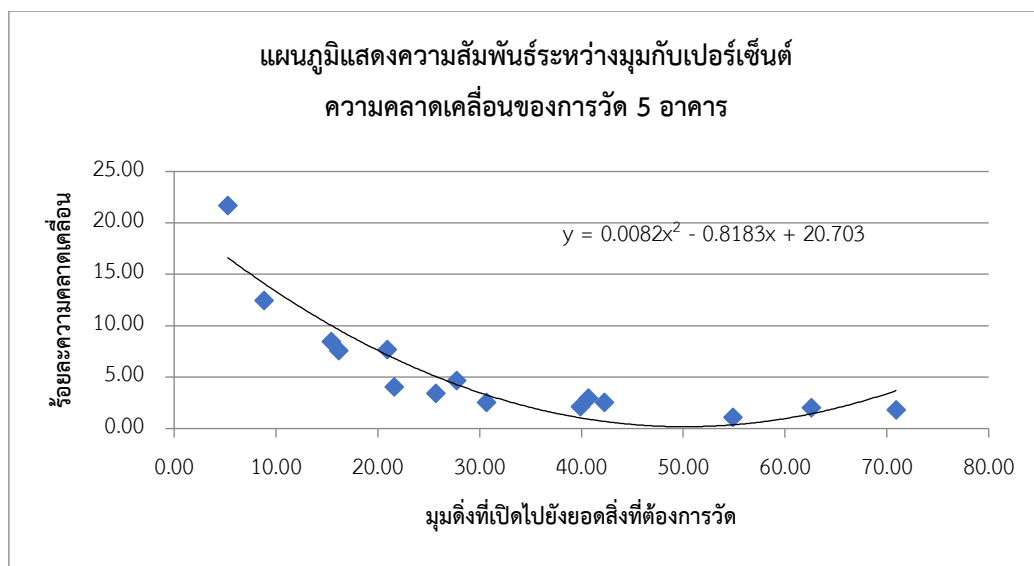
จะเห็นได้ว่าสมการที่ได้มีค่า D (ระยะทางระหว่างผู้ใช้กับสิ่งที่ต้องการวัด) และค่า $\tan \phi$ (มุมระหว่างสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตกับยอดสิ่งที่ต้องการวัด) ที่เป็นค่าไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้เกิดค่าความสูง H ของอาคาร

ตาราง 6.11 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงในแนวตั้งของอาคารปฏิบัติการ
วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรมประยุกต์ที่มุ่งตั้งเป็นมุมมอง

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|-----------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735845 | 100.533630 | 16.32 | 13.735812 | 100.532956 | 16.96 | 72.89 | 80.97 | -40.80 | 17.40 | 33.07 |
| 2 | 13.735846 | 100.533627 | 16.36 | 13.735817 | 100.532960 | 16.96 | 72.12 | 80.92 | -40.97 | 17.69 | 31.97 |
| 3 | 13.735843 | 100.533625 | 16.33 | 13.735807 | 100.532963 | 16.96 | 71.62 | 80.13 | -41.94 | 15.14 | 41.75 |
| 4 | 13.735845 | 100.533625 | 16.30 | 13.735817 | 100.532952 | 16.92 | 72.76 | 81.95 | -41.24 | 17.54 | 32.55 |
| 5 | 13.735850 | 100.533627 | 16.35 | 13.735809 | 100.532955 | 16.94 | 72.73 | 85.14 | -41.37 | 20.49 | 21.18 |
| 6 | 13.735846 | 100.533631 | 16.33 | 13.735819 | 100.532961 | 16.94 | 72.43 | 84.56 | -40.78 | 21.47 | 17.44 |
| 7 | 13.735846 | 100.533637 | 16.31 | 13.735815 | 100.532954 | 16.98 | 73.85 | 82.85 | -41.04 | 17.88 | 31.22 |
| 8 | 13.735845 | 100.533626 | 16.30 | 13.735818 | 100.532962 | 17.00 | 71.78 | 86.29 | -41.78 | 21.45 | 17.52 |
| 9 | 13.735844 | 100.533634 | 16.29 | 13.735819 | 100.532956 | 16.92 | 73.29 | 84.55 | -41.36 | 19.39 | 25.41 |
| 10 | 13.735838 | 100.533628 | 16.36 | 13.735815 | 100.532958 | 16.95 | 72.42 | 86.20 | -41.52 | 21.49 | 17.34 |
| เฉลี่ย | 13.735845 | 100.533629 | 16.32 | 13.735815 | 100.532958 | 16.95 | 72.59 | 83.36 | -41.28 | 18.99 | 26.94 |

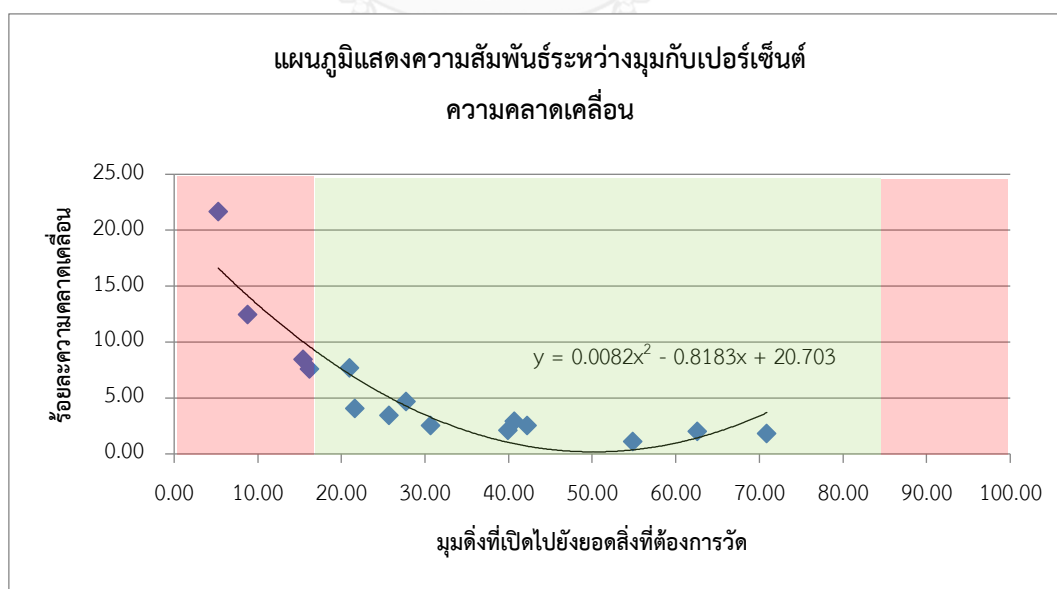
ตาราง 6.12 แสดงตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาผลต่างและร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัดความสูงในแนวตั้งของอาคาร
จักรพงษ์ด้วยโปรแกรมประยุกต์กรณีนี้นับตั้งแต่เป็นมมกัม

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน ดาดฟ้าอาคารวิศวกรรมศาสตร์ 4, จุดเป้าหมาย อาคารจักรพงษ์ | | | | | | | | | | |
|----------|--|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.735847 | 100.533650 | 16.32 | 13.736945 | 100.531936 | 13.49 | 221.77 | -20.04 | 2.51 | 80.00 | |
| 2 | 13.735854 | 100.533650 | 16.34 | 13.736952 | 100.531938 | 13.49 | 221.59 | -19.83 | 3.86 | 69.19 | |
| 3 | 13.735842 | 100.533644 | 16.31 | 13.736948 | 100.531935 | 13.52 | 221.81 | -19.79 | 5.23 | 58.30 | |
| 4 | 13.735842 | 100.533650 | 16.33 | 13.736940 | 100.531940 | 13.47 | 221.41 | -19.86 | 3.01 | 75.94 | |
| 5 | 13.735842 | 100.533649 | 16.35 | 13.736952 | 100.531929 | 13.49 | 223.05 | -19.94 | 2.38 | 81.00 | |
| 6 | 13.735853 | 100.533650 | 16.34 | 13.736938 | 100.531936 | 13.45 | 220.98 | -19.73 | 5.20 | 58.53 | |
| 7 | 13.735845 | 100.533654 | 16.32 | 13.736949 | 100.531930 | 13.46 | 223.04 | -19.66 | 5.85 | 53.28 | |
| 8 | 13.735850 | 100.533652 | 16.29 | 13.736949 | 100.531931 | 13.50 | 222.46 | -19.77 | 4.63 | 63.06 | |
| 9 | 13.735841 | 100.533653 | 16.32 | 13.736945 | 100.531934 | 13.45 | 222.59 | -19.65 | 3.42 | 72.71 | |
| 10 | 13.735849 | 100.533657 | 16.36 | 13.736939 | 100.531943 | 13.51 | 221.28 | -19.86 | 6.16 | 50.84 | |
| เฉลี่ย | 13.735847 | 100.533651 | 16.32 | 13.736946 | 100.531935 | 13.48 | 222.00 | -19.81 | 4.22 | 66.29 | |



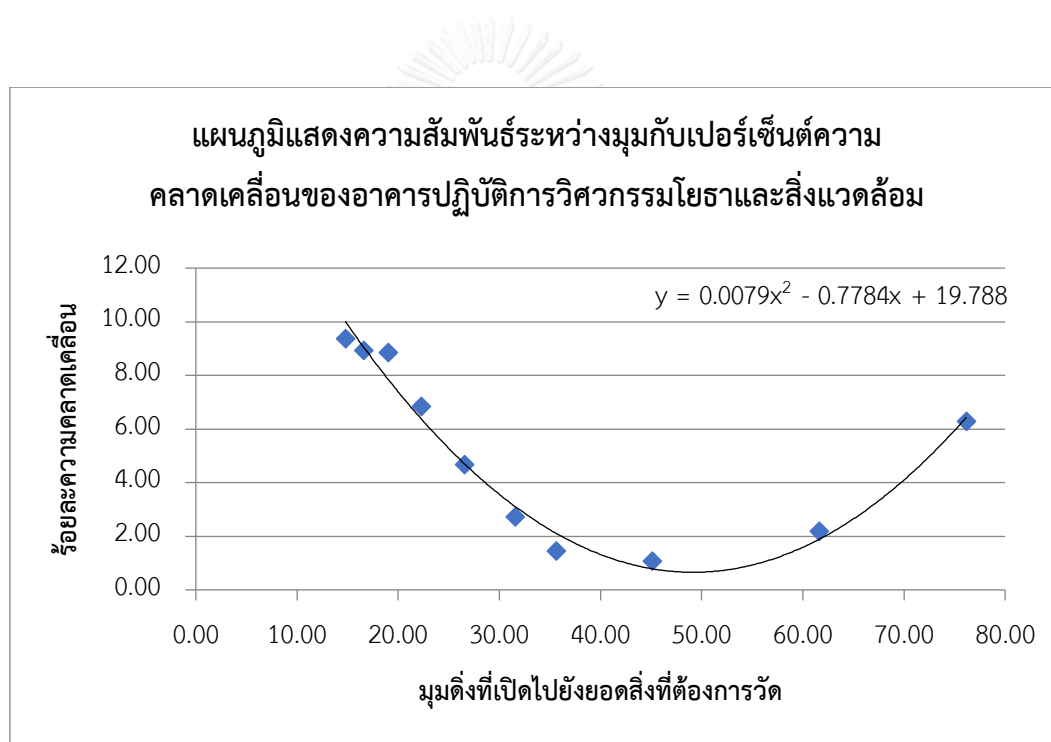
รูป 6.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเมงกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัด 5 อาคาร

จากความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างมุมและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน จะพบว่าเพื่อที่จะได้ผลการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐานของเครื่องมือวัด ISO 10012 ค่ามุมตั้งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดควรมีค่าอยู่ในช่วง 16 – 84 องศา โดยเปิดจากแนวราบระดับสายตาผู้ใช้โดยแสดงเป็นโซนสีเขียว และค่าที่ไม่ได้เข้าเงื่อนไขแสดงเป็นโซนสีแดง ดังรูป 6.19 ซึ่งค่าเหล่านี้จะนำมาหาความแม่นยำของเครื่องมือ ดังตาราง 6.13



รูป 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมตั้งที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อน เฉพาะค่ามุมตั้งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเมง ที่มีค่าอยู่ในช่วง 16 - 84 องศา

อย่างไรก็ตามแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนในรูป 6.18 นั้น เป็นค่าที่ได้จากการวัด 5 อาคาร จึงทำการทดสอบกับอาคารเพียงอาคารเดียว เพื่อตรวจสอบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ได้จากอาคารเดียวนั้นสอดคล้องกับสมการที่ได้จากการวัด 5 อาคารหรือไม่ โดยใช้อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมและอาคารเจริญวิศวกรรมเป็นอาคารทดสอบ ซึ่งเริ่มต้นทดสอบจากระยะที่ใกล้สิ่งที่ต้องการวัดมากที่สุดที่สามารถเห็นยอดของสิ่งที่ต้องการวัดชัดเจน และเปลี่ยนตำแหน่งห่างออกไปจากตำแหน่งเดิมเรื่อยๆ เป็นแนวเส้นตรงจำนวน 10 ตำแหน่ง ดังตาราง 6.13 และ ตาราง 6.14 และได้แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของแต่ละอาคารดังรูป 6.20 และ รูป 6.21

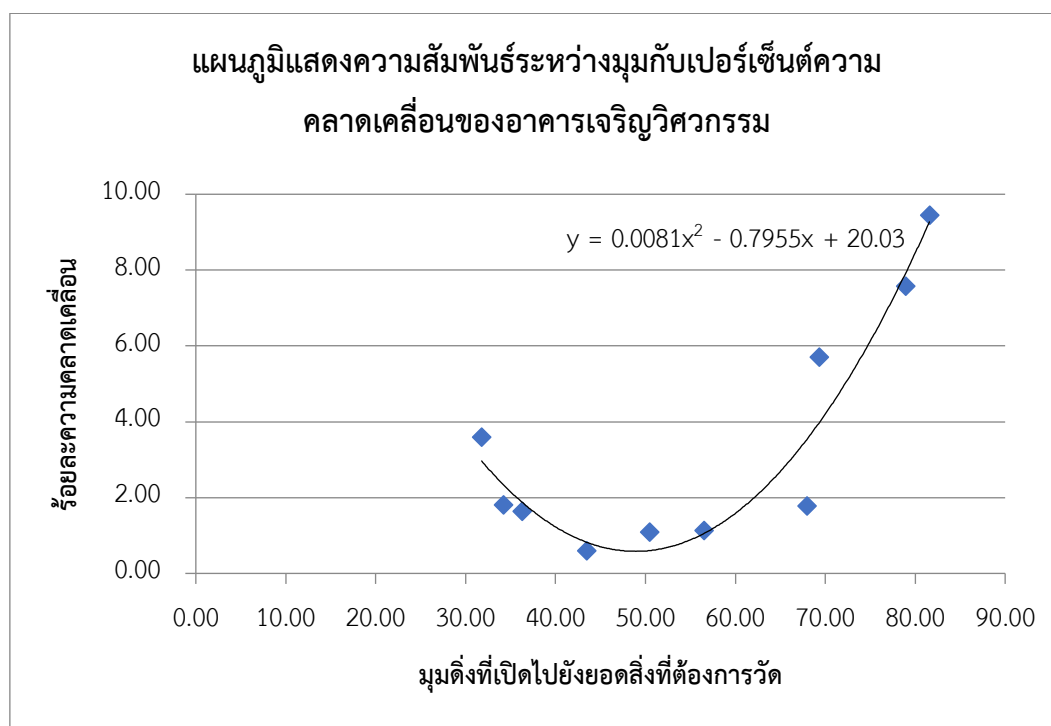


รูป 6.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

จากรูป 6.19 พบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม แสดงดังสมการที่ (12)

$$y = 0.0079x^2 - 0.7784x + 19.788 \quad \text{-----} \quad (12)$$

จากสมการ (12) มีค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐานของเครื่องมือวัด ISO 10012 อยู่ในช่วง 15 – 83 องศา โดยเปิดจากแนวราบระดับสายตาผู้ใช้



รูป 6.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของอาคารเจริญวิศวกรรม

จากรูป 6.21 พบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของอาคารเจริญวิศวกรรม แสดงดังสมการที่ (13)

$$y = 0.0081x^2 - 0.7955x + 20.03 \quad \text{----- (13)}$$

จากสมการ (13) มีค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐานของเครื่องมือวัด ISO 10012 อยู่ในช่วง 15 – 83 องศา โดยเปิดจากแนวราบระดับสายตาผู้ใช้

ตาราง 6.13 แสดงการสำรวจความสูงอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาที่ตำแหน่งต่างๆ กัน 10 ตำแหน่ง

| ตำแหน่งที่ | จุดที่ยืน | | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|------------|-----------|------------|---------------------|------------|-------------|----------|------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ละติจูด | ลองจิจูด | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.735896 | 100.532816 | 13.735839 | 100.532808 | 16.27 | 16.18 | 6.40 | 76.14 | 27.63 | 1.63 | 6.27 | |
| 2 | 13.735957 | 100.532840 | 13.735846 | 100.532811 | 16.43 | 16.17 | 12.73 | 61.60 | 25.43 | -0.57 | 2.19 | |
| 3 | 13.736042 | 100.532852 | 13.735833 | 100.532814 | 16.55 | 16.14 | 23.60 | 45.12 | 25.72 | -0.28 | 1.07 | |
| 4 | 13.736141 | 100.532859 | 13.735841 | 100.532802 | 16.64 | 16.16 | 33.92 | 35.59 | 26.38 | 0.38 | 1.44 | |
| 5 | 13.736200 | 100.532870 | 13.735845 | 100.532813 | 16.73 | 16.19 | 39.95 | 31.57 | 26.71 | 0.71 | 2.71 | |
| 6 | 13.736288 | 100.532879 | 13.735844 | 100.532808 | 16.82 | 16.21 | 49.96 | 26.57 | 27.21 | 1.21 | 4.67 | |
| 7 | 13.736403 | 100.532876 | 13.735845 | 100.532810 | 16.78 | 16.20 | 62.45 | 22.27 | 27.78 | 1.78 | 6.84 | |
| 8 | 13.736509 | 100.532909 | 13.735834 | 100.532815 | 16.82 | 16.22 | 75.74 | 19.00 | 28.30 | 2.30 | 8.84 | |
| 9 | 13.736615 | 100.532925 | 13.735834 | 100.532813 | 16.78 | 16.15 | 87.68 | 16.56 | 28.32 | 2.32 | 8.93 | |
| 10 | 13.736707 | 100.532969 | 13.735832 | 100.532803 | 16.85 | 16.15 | 98.93 | 14.79 | 28.44 | 2.44 | 9.37 | |
| เฉลี่ย | 13.736276 | 100.532880 | 13.735839 | 100.532810 | 16.67 | 16.18 | 49.14 | 34.92 | 27.19 | 1.19 | 5.23 | |

ตาราง 6.14 แสดงการสำรวจความสูงอาคารเจริญวิศวกรรมที่ตำแหน่งต่างๆ กัน 10 ตำแหน่ง

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (องศา) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
|----------|-----------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|--------|-----------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.736284 | 100.533653 | 15.83 | 13.736179 | 100.533726 | 15.65 | 14.09 | 81.58 | 96.98 | 10.12 | 9.45 |
| 2 | 13.736293 | 100.533591 | 16.09 | 13.736180 | 100.533723 | 15.67 | 19.00 | 78.91 | 98.99 | 8.11 | 7.57 |
| 3 | 13.736311 | 100.533415 | 16.83 | 13.736172 | 100.533727 | 15.68 | 37.08 | 69.32 | 100.99 | 6.11 | 5.71 |
| 4 | 13.736313 | 100.533350 | 17.11 | 13.736181 | 100.533723 | 15.69 | 42.88 | 67.97 | 109.00 | 1.90 | 1.78 |
| 5 | 13.736286 | 100.533117 | 17.89 | 13.736179 | 100.533733 | 15.69 | 67.59 | 56.49 | 105.90 | 1.20 | 1.12 |
| 6 | 13.736303 | 100.532953 | 17.16 | 13.736174 | 100.533728 | 15.68 | 84.93 | 50.45 | 105.94 | 1.16 | 1.08 |
| 7 | 13.736335 | 100.532714 | 16.12 | 13.736182 | 100.533722 | 15.67 | 110.20 | 43.45 | 106.46 | 0.64 | 0.59 |
| 8 | 13.736391 | 100.532433 | 14.93 | 13.736173 | 100.533730 | 15.65 | 142.18 | 36.30 | 105.34 | 1.76 | 1.64 |
| 9 | 13.736401 | 100.532326 | 14.62 | 13.736180 | 100.533731 | 15.63 | 153.74 | 34.22 | 105.17 | 1.93 | 1.80 |
| 10 | 13.736420 | 100.532200 | 14.26 | 13.736176 | 100.533719 | 15.69 | 166.30 | 31.79 | 103.26 | 3.84 | 3.59 |
| เฉลี่ย | 13.736334 | 100.532975 | 16.08 | 13.736178 | 100.533726 | 15.67 | 83.80 | 55.05 | 103.80 | 3.68 | 3.43 |

จากช่วงของค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐานของเครื่องมือวัด ISO 10012 ของอาคารการวัดเพียงอาคารเดียวมีค่าใกล้เคียงกับช่วงของค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดจำนวน 5 อาคารเป็นอย่างมาก จึงสรุปได้ว่าสมการ (11) นั้นสามารถใช้เป็นสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมที่เปิดไปยังยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อนได้

อย่างไรก็ตาม จากรูป 6.19 จะเห็นได้ว่าการหาความสูงทั้งหมด 15 ตำแหน่ง ซึ่งมีการวัดตำแหน่งละ 10 ครั้งนั้นมีบางข้อมูลที่ไม่อยู่ในช่วงที่มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคัดข้อมูลดังกล่าวจากตาราง 6.6 ถึง ตาราง 6.10 ออก เพื่อหาค่าความแม่นยำและระยะที่ความคลาดเคลื่อนยอมให้ของเครื่องมือ เหลือ 12 ตำแหน่งดังตาราง 6.15 เนื่องจากหากใช้ตำแหน่งที่มีค่ามุมที่เปิดเกินระยะแนะนำของเครื่องมือเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณด้วย จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนยอมให้ของเครื่องมือที่ได้รับจากการคำนวณมีค่ามากเกินไปกว่าความเป็นจริงที่เกิดจากโปรแกรมประยุกต์เอง เพราะเป็นการใช้เครื่องมือที่ผิดหลักคำแนะนำการใช้เครื่องมือ

ตาราง 6.15 แสดงมุมดิ่งที่เลี้ยงยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉพาะค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเฉย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 15.48 - 84.31 องศา

| ตำแหน่งที่ | มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัด | ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|------------|--|--------------------------|
| 1 | 25.71 | 3.42 |
| 2 | 42.23 | 2.54 |
| 3 | 21.63 | 4.07 |
| 4 | 40.66 | 2.94 |
| 5 | 70.89 | 1.81 |
| 6 | 62.56 | 2.03 |
| 7 | 27.51 | 4.67 |
| 8 | 21.54 | 6.90 |
| 9 | 39.91 | 2.11 |
| 10 | 54.87 | 1.08 |

ตาราง 6.15 แสดงมุมดิ่งที่เล็งยอดสิ่งที่ต้องการวัดกับร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉพาะค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงย ที่มีค่าอยู่ในช่วง 15.48 - 84.31 องศา (ต่อ)

| ตำแหน่งที่ | มุมดิ่งที่เปิดจากแนวราบไปยังจุดที่ต้องการวัด | ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน |
|----------------------|--|--------------------------|
| 11 | 30.66 | 2.55 |
| 12 | 16.18 | 7.59 |
| เฉลี่ย | | 3.48 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | 1.94 |

จากตาราง 6.15 สรุปได้ว่า ตาม ISO 10012 มีความคลาดเคลื่อนยอมให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้อง จะต้องมียุทธศาสตร์ที่เล็งไปยังยอดสิ่งที่ต้องการวัดอยู่ในช่วง 15.48 - 84.31 องศา และมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือเท่ากับร้อยละ 3.48 ± 1.94 หรือร้อยละ 1.54 - ร้อยละ 5.41

จากตาราง 6.11 และ ตาราง 6.12 พบว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดมีค่ามาก และไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมดิ่งกับความคลาดเคลื่อนในแบบเดียวกับกรณีที่มีมุมดิ่งของจุดบนสุดของสิ่งที่ต้องการวัดเป็นมุมเงยได้ เนื่องจากตัวรับสัญญาณความดันอากาศของสมาร์ตโฟนนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ทำให้ค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) มีค่าไม่คงที่ในทุกๆ การวัด จึงยกไปเป็นข้อจำกัดของโปรแกรมประยุกต์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ยังไม่สนับสนุนการวัดในกรณีที่ผู้ใช้ไม่สามารถยืนอยู่บนพื้นดิน ทำให้ระบบไม่สามารถสนับสนุนการวัดในกรณีที่ 4 ถึง 7 ได้อย่างเต็มที่

จากการทดสอบ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 ประการ ได้แก่ ประการแรก ความผิดพลาดจากประสิทธิภาพของสมาร์ตโฟนในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของ GPS หากอยู่ในที่อับสัญญาณ GPS และสัญญาณอินเทอร์เน็ต รวมถึงการรับสัญญาณความดันอากาศที่ยังไม่คงที่ ประการที่ 2 คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ใช้งานต่อไปนี้

1) ผู้ใช้ปกรหมุดตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัดหรือตำแหน่งของผู้ใช้ผิดพลาด ส่งผลให้ค่าความสูงที่ได้คลาดเคลื่อน เพราะค่าที่ได้รับจากดาวเทียมและอินเทอร์เน็ตจะไม่ใช้ค่าระดับและตำแหน่งที่แท้จริงของผู้ใช้หรือสิ่งที่ต้องการวัด

- 2) ผู้ใช้ถือสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตที่ตำแหน่งสูงกว่าที่ได้ตั้งค่าคงที่ไว้ในระบบ ทำให้ค่าที่ได้หลังการคำนวณมีความคลาดเคลื่อน
- 3) ขณะวัดมุมยอดของสิ่งที่สนใจ ผู้ใช้อาจเอนังผิดพลาด ส่งผลให้มุมที่ได้รับมาไม่ถูกต้อง

6.6 การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจ

นอกจากวิธีการทำงานในปัจจุบันที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 แล้ว การใช้กล้องสำรวจก็เป็นอีกวิธีที่สามารถนำมาวัดหาความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดได้ โดยมีเครื่องมือ อุปกรณ์ และขั้นตอนการทำงานดังนี้

6.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กล้องธีโอโดไลท์ หรือ กล้อง Total Station
- 2) ขาตั้งกล้อง
- 3) เป้าปรีซิม
- 4) ขาตั้งกล้องปรีซิม
- 5) เทปวัดระยะ
- 6) หมุดไม้
- 7) ค้อน
- 8) แผนที่
- 9) สมุดบันทึกและเครื่องเขียน
- 10) กล้องถ่ายรูป

6.6.2 วิธีปฏิบัติ

- 1) วัดความสูงจากพื้นถึงแกนกล้องธีโอโดไลท์ หรือ กล้อง Total Station (AF) ด้วย เทปวัดระยะ

2) วัดระยะจากกล้องรีโอดีไลท์ หรือ กล้อง Total Station ถึงฐานของสิ่งที่ต้องการวัด (FD) ด้วยเทปวัดระยะ หรือเป้าปริซึม หรือคำนวณจากสมการ

3) วัดมุมเงยด้วยกล้องรีโอดีไลท์ หรือ กล้อง Total Station โดยเปิดมุมไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัด (θ) โดยค่ามุมตั้งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{มุมตั้งหน้าซ้าย} = 90^\circ - \theta$$

$$\text{มุมตั้งหน้าขวา} = \theta - 270^\circ$$

$$\text{มุมตั้งเฉลี่ย } (\theta_1) = \frac{\text{มุมตั้งหน้าซ้าย} + \text{มุมตั้งหน้าขวา}}{2}$$

4) คำนวณหาความสูง DE จากทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส

$$\text{ความสูง DE} = \tan(\theta_1) \times \text{ระยะ FD}$$

5) หาความสูง CD ด้วยกล้องระดับ

6) คำนวณหาความสูงทั้งหมดของสิ่งที่ต้องการวัด (CE) จากสมการ

$$\text{ระยะ CE} = \text{ระยะ CD} + \text{ระยะ DE}$$

7) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) – 6) โดยตั้งกล้องที่จุด B

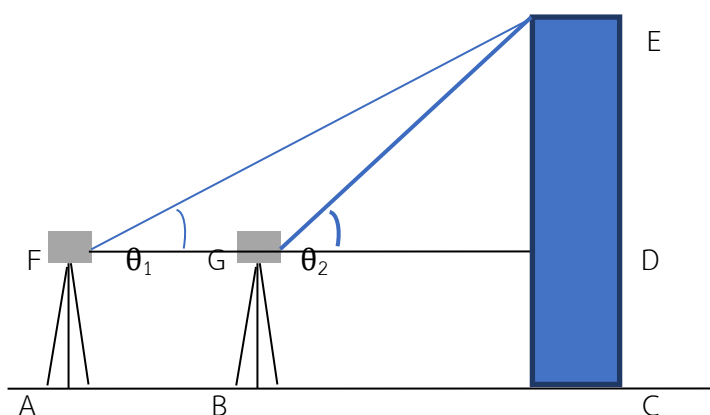


(ก)



(ข)

รูป 6.22 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจ



รูป 6.23 แสดงการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดในแนวดิ่งโดยใช้กล้องสำรวจประกอบการคำนวณ

การใช้กล้องถ่ายรูปและแผนที่ช่วยระบุตำแหน่งอาคารและตำแหน่งที่ตั้งกล้องสามารถนำมาอ้างอิงเพื่อทำรายงานการสำรวจหรือตรวจสอบหากมีการวัดผิดพลาดได้

6.6.3 การเก็บข้อมูลและการคำนวณในการวัดความสูงของอาคารด้วยกล้องสำรวจ

ในการวัดความสูงของอาคารด้วยกล้องสำรวจนั้นใช้อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา และสิ่งแวดล้อมเป็นกรณีตัวอย่าง โดยตั้งกล้องที่ตำแหน่งต่างกัน 3 ตำแหน่ง

สำหรับโปรแกรมประยุกต์ ConOHM ที่เป็นผลสำเร็จของงานวิจัยสามารถรังวัดสิ่งกีดขวางได้ ค่าใกล้เคียงกับสายวัดระยะและเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ แต่ยังมีข้อได้เปรียบกว่าเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ในเรื่องความแน่นอนของการวัด เนื่องจากหากเป็นสิ่งกีดขวางที่มีขนาดสูง เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์จะทำการรังวัดได้ลำบากกว่ามาก เนื่องจากผู้ใช้ต้องพยายามควบคุมตำแหน่งของแสงเลเซอร์ที่ถูกยิงออกไปให้อยู่ให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการรังวัดให้ได้มากที่สุด ซึ่งหากระยะยิงไกลออกไป ความผิดพลาดของการรังวัดจากการถือเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ก็จะส่งผลมากขึ้น ทำให้ค่าที่ได้นั้นเกิดความไม่แน่นอนในการวัดแต่ละครั้ง และส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างชัดเจน เพราะส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการรังวัดด้วยเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ในการรังวัดอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธามีค่าเท่ากับ 0.68 ในขณะที่หากรังวัดหลังคาอาคารจอดรถกลับมีค่าเพียงแค่ 0.02 ในขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของโปรแกรมประยุกต์ ConOHM มีค่าเพียง 0.18 และ 0.01 เท่านั้นซึ่งใกล้เคียงกับการใช้สายวัดมากที่สุด

จากผลการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่าโปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นสามารถรังวัดค่าความสูงได้ถูกต้องใกล้เคียงกับการใช้สายวัดหรือเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ หากแต่เมื่อเปรียบเทียบ

ด้วยค่าความแน่นอนจากการรังวัด จะพบว่าโปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์โดยเฉพาะการรังวัดสิ่งกีดขวางที่มีความสูงมาก เนื่องจากสามารถลดปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องจากผู้ใช้ได้มากกว่า โดยการตั้งค่าต่างๆ มาจากดาวเทียมและอินเทอร์เน็ต ในขณะที่การรังวัดก็สามารถทำได้สะดวกกว่าเนื่องจากสามารถรังวัดจากที่ใดก็ได้ที่เห็นยอดของสิ่งกีดขวาง ไม่จำเป็นต้องเห็นฐานของสิ่งกีดขวางเหมือนเครื่องมืออื่นๆ ทำให้สามารถลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการเล็งฐานของสิ่งกีดขวางได้เพิ่มเติม

โปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นยังสามารถกำหนดจุดที่สิ่งกีดขวางที่สนใจตั้งอยู่ ทำการบันทึก สร้างรายงาน และส่งข้อมูลออกไปในรูปแบบจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ และวิธีการรังวัดอื่นๆ ไม่สามารถทำได้ จึงส่งผลให้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้นที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำและจดบันทึกข้อมูลได้สะดวก

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนและกล้องสำรวจโดยออกได้เป็น 2 ส่วนดังนี้ คือ

ส่วนที่ 1 การเปรียบเทียบเรื่องขั้นตอนการทำงาน

การเปรียบเทียบเรื่องขั้นตอนการทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสำรวจ ขั้นทำการสำรวจพื้นที่ก่อสร้าง และขั้นหลังการสำรวจ

1) ขั้นก่อนการสำรวจ

- การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจ ผู้สำรวจจะต้องจัดเตรียมเอกสารต่างๆ เช่น แบบบันทึกผลสำรวจ แผนที่สถานที่ก่อสร้าง และจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้องสำรวจ เป้าปริซึม กล้องถ่ายรูป และกล้อง GPS เป็นต้น

- การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนมีการติดตั้งแผนที่โดยดึงข้อมูลจากดาวเทียม สามารถบันทึกและเก็บข้อมูลของเอกสารต่างๆ ไว้ในสมาร์ทโฟน รวมถึงมีกล้องถ่ายรูปในตัว

2) ขั้นทำการสำรวจพื้นที่ก่อสร้าง

- ในขณะที่สำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจที่ตำแหน่งต่างๆ ผู้สำรวจต้องบรรทุกเครื่องมือ อุปกรณ์ และเอกสารต่างๆ ติดตัวไปด้วย ซึ่งมีปริมาณและน้ำหนักมาก

- การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนสามารถเปิดดูเอกสาร แผนที่ และแบบแปลนต่างๆ ที่บันทึกไว้ก่อนทำการสำรวจและขณะบันทึกข้อมูลขณะทำการสำรวจได้

3) ชั้นหลังการสำรวจ

- การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจนั้นยังไม่ได้ผลลัพธ์ในทันที ผู้สำรวจต้องนำข้อมูลดิบซึ่งได้แก่ ความสูงจากพื้นดินถึงแกนกล้อง ระยะทางระหว่างกล้องถึงอาคาร และมุมที่วัดได้จากกล้อง มาหาค่าความสูงของอาคารรวมถึงจัดทำรายงานการสำรวจต่อไป

- การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนสามารถได้ค่าความสูงของอาคารทันทีและสามารถสร้างรายงานการสำรวจและส่งออกทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ในทันทีอีกด้วย

ส่วนที่ 2 การเปรียบเทียบเรื่องทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจ

การเปรียบเทียบเรื่องทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือและอุปกรณ์ และจำนวนผู้สำรวจ

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสูงด้วยกล้องสำรวจมีดังนี้ กล้อง Total Station, ขาตั้งกล้อง, เป้าปรีซิซึม, ขาตั้งกล้องปรีซิซึม, เทปวัดระยะ, หมุดไม้, ค้อน, แผนที่, สมุดบันทึก, เครื่องเขียน และกล้องถ่ายรูป

- เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนใช้สมาร์ตโฟนที่มีระบบ GIS, GPS, อินเทอร์เน็ต, ตัวรับความแรงของแรงโน้มถ่วง, ตัวรับความเร็วเชิงมุม, ตัวรับความดัน และตัวรับกล้องถ่ายรูป

2) จำนวนผู้สำรวจ

- การสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจใช้ผู้สำรวจอย่างน้อย 2 คน

- การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนใช้ผู้สำรวจเพียง 1 คนเท่านั้นก็สามารถทำงานได้

ตาราง 6.16 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องขั้นตอนการทำงานระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM

| รายการ | วิธีดั้งเดิม | ConOHM |
|--|---|--|
| ขั้นก่อนการก่อสร้าง | | |
| การจัดเตรียมเอกสาร | ต้องจัดเตรียมเอกสาร | ไม่ต้องจัดเตรียมเอกสาร |
| การจัดเตรียมอุปกรณ์ | ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ | ไม่ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ |
| การจัดเตรียมกำลังคน | ต้องจัดเตรียมกำลังคน | ไม่ต้องจัดเตรียมกำลังคน |
| ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น | ค่าเอกสาร อุปกรณ์และคนที่ต้องเตรียม | ค่าไฟฟ้าที่เติมเข้าไปในสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต |
| ขั้นการสำรวจพื้นที่ก่อสร้าง | | |
| การบรรทุกเครื่องมือเครื่องไม้เครื่องมือต่างๆ | ต้องบรรทุกจำนวนมาก | พกเพียงสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตหนึ่งเครื่อง |
| จำนวนขั้นตอนที่ใช้ | มีกระบวนการทำงานหลายขั้นตอน และข้องเกี่ยวกับหลายๆ คนในทีม | กระบวนการทำงานทั้งหมดอยู่ในระบบ |
| ขั้นหลังการสำรวจ | | |
| การคำนวณข้อมูล | ยังไม่ได้ค่าทันที | ได้ค่าทันทีจากระบบ |
| การแสดงผลข้อมูล | ต้องจัดทำรายงาน | ระบบสร้างรายงานให้ |

ตาราง 6.17 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องการใช้ทรัพยากรในการสำรวจระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM

| รายการ | วิธีดั้งเดิม | ConOHM |
|--------------------------------|------------------------|---|
| เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ | ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมาก | อุปกรณ์ที่จำเป็น อยู่ในสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตอยู่แล้ว |
| จำนวนผู้สำรวจ | อย่างน้อย 2 คน | 1 คน |

ส่วนที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ

- จากที่กล่าวใน 6.6.1 ว่าการสำรวจความสูงด้วยกล้องสำรวจนั้นยังไม่ได้ผลลัพธ์ในทันที ดังนั้นระยะเวลาเฉลี่ยที่ทำการสำรวจเฉพาะวัดระยะทางและวัดมุมนับตั้งแต่ตั้งกล้องสำรวจจนเก็บกล้อง ใช้เวลาเฉลี่ย 13.32 นาทีต่อการวัด 1 ครั้ง จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปคำนวณและจัดทำรายงานต่อไป

- การสำรวจความสูงด้วยโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนใช้เวลาเฉลี่ย 2.15 นาที ตั้งแต่สร้างโครงการจนถึงจัดทำรายงานต่อการวัด 1 ครั้ง แต่หากวัดอาคารหรือสิ่งที่ต้องการวัดอื่นๆ ที่อยู่ในโครงการเดียวกันก็จะใช้เวลาน้อยลงไปอีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของอินเทอร์เน็ตและสัญญาณ GPS ด้วย

ตาราง 6.18 แสดงตารางเปรียบเทียบเรื่องระยะเวลาในการทำงานระหว่างวิธีดั้งเดิมและ ConOHM

| รายการ | วิธีดั้งเดิม | ConOHM |
|-------------------------------|--|--|
| ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล | 13.32 นาทีต่อการวัดหนึ่งจุด (เฉพาะการวัดระยะทางและมุมตั้งเท่านั้น) | 2.15 นาทีต่อการวัดหนึ่งจุด (ตั้งแต่สร้างโครงการจนถึงสร้างรายงานผลการสำรวจ) |

6.8 การทดสอบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนโดยกลุ่มตัวอย่าง

ความเห็นของผู้มีประสบการณ์ต่อโปรแกรมประยุกต์มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมประยุกต์นี้มีประโยชน์ต่อการทำงานในปัจจุบันหรือไม่อย่างไร งานวิจัยนี้จึงมีการทดสอบโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนโดยกลุ่มตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างนี้ได้แก่ วิศวกรโยธา ภาคสนาม วิศวกรโยธาสำนักงาน วิศวกรสำรวจ วิศวกรที่ปรึกษา และหัวหน้าโครงการ รวมถึงวิศวกรคอมพิวเตอร์ ทั้งหมดจำนวน 30 คน เพื่อให้ได้การแจกแจงแบบปกติของกลุ่มตัวอย่างที่สามารถอ้างอิงกับประชากรได้ตามทฤษฎีขีดจำกัดเข้าสู่ศูนย์กลาง จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และทำการประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 รายการประเมินความพึงพอใจต่อโปรแกรมประยุกต์ ConOHM

- 1) ด้านความเข้าใจในการใช้โปรแกรมประยุกต์
- 2) ด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์
- 3) ด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

ระดับความคิดเห็นตามความหมายของระดับประมาณค่าประสิทธิภาพและคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

- 5 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- 4 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- 3 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- 1 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

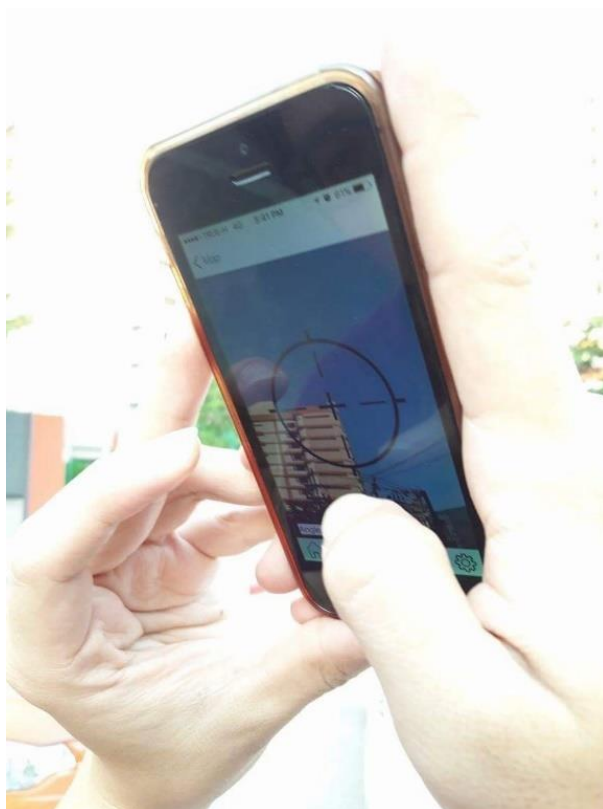
การอบรมการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ให้ผู้ทดสอบมีทั้งแบบตัวต่อตัวและเป็นกลุ่ม โดยผู้เข้าร่วมจะรับฟังบรรยายที่มาและความสำคัญของงานวิจัย รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานปัจจุบัน จากนั้นจึงสอนวิธีการใช้โปรแกรมประยุกต์และฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ในโปรแกรม แล้วให้ผู้ทดสอบใช้โปรแกรมประยุกต์กับโครงการจริง ดังรูป 6.24

ตาราง 6.19 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 1

| รายการประเมิน | | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---|--|------------------|---|---|---|---|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1. ด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 1.1 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความง่ายในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 1.2 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับคู่มือการใช้โปรแกรมประยุกต์ | | | | | |

ตาราง 6.19 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 1 (ต่อ)

| รายการประเมิน | | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---|--|------------------|---|---|---|---|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 2. ด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 2.1 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับขนาดรูปแบบ และตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.2 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับรูปแบบและสีของพื้นหลังบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.3 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเหมาะสมของขนาด รูปแบบ สี และตำแหน่งของปุ่มกดบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.4 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความทันสมัยของรูปแบบโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 3. ด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 3.1 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความถูกต้องในผลลัพธ์การคำนวณทางภูมิศาสตร์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 3.2 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเหมาะสมของรายงานผลการสำรวจ | | | | | |
| 3.3 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเร็วในการตอบสนองของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 3.4 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับประโยชน์ของโปรแกรมประยุกต์นี้ช่วยในงานก่อสร้าง | | | | | |
| 3.5 | ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับภาพรวมของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |



รูป 6.24 แสดงบรรยากาศการทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่าง

หลังการทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่าง ผู้ทดสอบจะรับทราบถึงข้อมูลของอาคารที่วัดแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ตนเองวัดได้ แล้วทำแบบประเมินความพึงพอใจทั้งในส่วนของ การใช้โปรแกรมประยุกต์และการใช้โปรแกรมประยุกต์สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

โดยจากผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่างในส่วนที่ 1 มีคะแนนเต็ม 5 คะแนน ทั้ง 3 ด้าน พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์มีค่า 4.67 คะแนน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์มีค่า 4.25 คะแนน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์มีค่า 4.37 และมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมทั้งหมดเท่ากับ 4.38 คะแนน ดังตาราง 6.20 ถึง ตาราง 6.22

แบบสำรวจความคิดเห็นหลังการทดลองใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

หลังจากที่ท่านได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM แล้วจึงขอสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่านในประเด็นต่างๆ
ต่อไปนี้

*จำเป็น

1. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้มากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

2. ท่านคิดว่าความสามารถในการวัดความสูงของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น ได้มากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

3. ท่านคิดว่าความสามารถในการระบุและบันทึกตำแหน่งอุปกรณ์ในพื้นที่ก่อสร้างของ ConOHM สามารถ สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้มากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

4. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดระยะเวลาการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ได้
- ไม่ได้
- ไม่แน่ใจ

5. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดทรัพยากรที่ใช้การสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ได้
- ไม่ได้
- ไม่แน่ใจ

รูป 6.25 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 2

6. ท่านคิดว่าความสามารถในการสร้างรายงานการสำรวจของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขึ้นต้นมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจในระดับดีมาก
 มีความพึงพอใจในระดับดี
 มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
 มีความพึงพอใจในระดับน้อย
 มีความพึงพอใจในระดับน้อยมาก

7. ท่านคิดว่าท่านจะใช้ ConOHM ในการทำงานจริงหรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ใช่
 ไม่ใช่
 ไม่แน่ใจ

รูป 6.25 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 2 (ต่อ)
 ตาราง 6.20 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์
 ทั่วไป

| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | | | เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก |
|--|------------------|---|---|----|----|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1.1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 22 | 4.73 |
| 1.2 | 0 | 0 | 0 | 12 | 18 | 4.60 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.67 |
| 2.1 | 0 | 0 | 1 | 17 | 12 | 4.37 |
| 2.2 | 0 | 0 | 7 | 16 | 7 | 4.00 |
| 2.3 | 0 | 0 | 6 | 13 | 11 | 4.17 |
| 2.4 | 0 | 0 | 0 | 16 | 14 | 4.47 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.25 |
| 3.1 | 0 | 0 | 0 | 14 | 16 | 4.53 |
| 3.2 | 0 | 0 | 6 | 15 | 9 | 4.10 |
| 3.3 | 0 | 0 | 0 | 20 | 10 | 4.33 |
| 3.4 | 0 | 0 | 0 | 18 | 12 | 4.40 |
| 3.5 | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 | 4.50 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.37 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมทั้งหมด | | | | | | 4.38 |

จากข้อเสนอแนะจากกลุ่มตัวอย่างสามารถส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของสีและรูปแบบของพื้นหลังบนหน้าจอแสดงผล รวมถึงปุ่มกดต่างๆ บนหน้าจอแสดงผล ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินระดับความพึงพอใจในหัวข้อ 2.2 และ 2.3 โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเพศหญิงจะให้คะแนนหัวข้อ 2.2 และ 2.3 ที่ 4-5 คะแนน ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างเพศชายให้คะแนนหัวข้อ 2.2 และ 2.3 ที่ 3-4 คะแนน

ข้อเสนอแนะอีกประการจากกลุ่มตัวอย่างเป็นเรื่องของรายงานผลการสำรวจ เนื่องจากโปรแกรมประยุกต์ในงานวิจัยนี้สามารถส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .pdf เท่านั้น กลุ่มตัวอย่างบางท่านจึงเสนอให้สามารถส่งออกข้อมูลเป็น .xlsx ซึ่งสามารถเปิดและแก้ไขข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ได้

ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่างใน ส่วนที่ 2 พบว่าค่าที่ได้จากการแสดงความคิดเห็นที่เป็นคำถามให้แสดงความเห็นด้วยด้วยค่าระดับลิเกิร์ตเกี่ยวกับความสามารถในการสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นของโปรแกรมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.25 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเห็นดีว่าสามารถสนับสนุนการทำงานสำรวจสถานที่ก่อสร้างขั้นต้นได้เป็นอย่างดี ดังตาราง 6.21

ในขณะที่ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับการใช้หรือไม่ใช้โปรแกรมประยุกต์และโปรแกรมประยุกต์จะสามารถสนับสนุนการใช้งานได้หรือไม่นั้นพบว่า กลุ่มตัวอย่างรู้สึก ว่าโปรแกรมประยุกต์ ConOHM สามารถลดระยะเวลาทำงานลงได้ เป็นร้อยละ 90 สามารถลดทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้ เป็นร้อยละ 86.7 และตัดสินใจจะใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM ในการทำงานจริง ร้อยละ 83 ซึ่งล้วนแล้วแต่มีค่าเกิน 80% หรือ 4 ใน 5 ส่วนของค่าระดับลิเกิร์ต จึงสามารถตัดสินใจจากคำตอบของกลุ่มตัวอย่างได้ว่า โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สามารถช่วยสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้จริง

ตาราง 6.21 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจในด้านการสนับสนุนงานสำรวจสถานที่ก่อสร้างขั้นต้น

| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | | | เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก |
|---|------------------|---|---|----|----|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 | 0 | 2 | 8 | 10 | 4.27 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 17 | 13 | 4.43 |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 11 | 16 | 4.43 |
| 6 | 0 | 1 | 5 | 16 | 8 | 4.03 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านการสนับสนุนการทำงาน | | | | | | 4.25 |

ตาราง 6.22 แสดงจำนวนการตอบของกลุ่มตัวอย่างสำหรับคำถามที่มีตัวเลือกได้/ไม่ได้/ไม่แน่ใจ และ ใช้/ไม่ใช้/ไม่แน่ใจ

| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | |
|--------|------------------|---------------|----------|-------------------------|
| | ได้/ใช่ | ไม่ได้/ไม่ใช่ | ไม่แน่ใจ | คิดเป็นร้อยละที่พึงพอใจ |
| 4 | 27 | 1 | 2 | ร้อยละ 90 |
| 5 | 26 | 1 | 3 | ร้อยละ 86.7 |
| 7 | 25 | 0 | 5 | ร้อยละ 83 |

6.9 สรุป

จากทั้งหมด 5 บทที่ผ่านมา ได้นำเสนอถึงขั้นตอนและหลักการวิจัยให้ได้มาซึ่งโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถนำมาช่วยปฏิบัติงานได้ในสิ่งแวดล้อมการทำงานจริง อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผู้เชื่อมั่นใจได้ว่าโปรแกรมประยุกต์นั้นจะสามารถทำงานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพและให้ค่าที่ถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ การทดสอบจากการใช้งานจริงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องถูกจัดทำขึ้น โดยเปรียบเทียบกับการทำงานแบบดั้งเดิม เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพและผลลัพธ์ที่ได้ของโปรแกรมประยุกต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา เทียบกับการทำงานรูปแบบต่างๆ

เมื่อนำ ConOHM ไปทำการรังวัดเปรียบเทียบกับสายวัด เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ และโปรแกรมประยุกต์ที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่า โปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นให้ค่าความสูงจากการรังวัดได้ใกล้เคียงกับการใช้สายวัดและเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ และโปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นยังมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าสายวัดและเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแน่นอนในการวัดแต่ละครั้งมากกว่าการใช้เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ ในขณะที่โปรแกรมประยุกต์อื่นๆ นั้นเหมาะสำหรับการวัดค่าความสูงของสิ่งกีดขวางที่มีความสูงไม่มาก เพราะได้ค่าที่แตกต่างจากสายวัดและเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์เล็กน้อยในกรณีที่รังวัดสิ่งกีดขวางที่มีความสูงน้อย แต่หากนำไปรังวัดสิ่งกีดขวางที่มีความสูงมาก จะส่งผลให้ค่าความสูงที่ได้มีโอกาสผิดพลาดมากขึ้น นอกจากนี้วิธีเครื่องมืออื่นๆ ไม่สามารถบันทึกและสร้างรายงานการรังวัดได้เอง จึงทำให้ ConOHM นั้นมีความเหมาะสมที่จะถูกนำไปใช้สำหรับการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากกว่า

การทดสอบอาคารจำนวน 5 อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อตรวจสอบว่าความสูงที่ได้มาจากโปรแกรมประยุกต์นั้นจะมีความถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนเพียงใด เมื่อเทียบกับตำแหน่งและความสูงจากแบบก่อสร้างที่ทางผู้วิจัยได้รับมาก่อนหน้านี้ ซึ่งจากผลที่ได้รับพบว่า ตำแหน่งที่โปรแกรม

ประยุกต์สามารถหาได้เปรียบเทียบกับที่ตั้งจริงๆของหมุดควบคุมที่ทราบพิกัดแน่นอนนั้นมีความแตกต่างกันน้อยมากในระดับร้อยละ 10^{-4} ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปิกหมุดของผู้ใช้ที่ทำได้ดี ผนวกกับความแม่นยำของการตรวจสอบ GPS และสัญญาณอินเทอร์เน็ตของสมาร์ทโฟนมีความละเอียดละเอียดและถูกต้องสูง จึงทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำเช่นนี้ สำหรับความสูงของอาคารเมื่อนำข้อมูลของมุมที่ทำการวัดและร้อยละความผิดพลาดมาเปรียบเทียบดูแล้ว พบว่าหากมีมุมเงยอยู่ที่ระหว่าง 16 ถึง 84 องศา ค่าความสูงของสิ่งที่สนใจจะมีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกินร้อยละ 10 และเมื่อทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมืออยู่ที่ร้อยละ 3.48 ± 1.94 หรือร้อยละ $1.54 -$ ร้อยละ 5.41 โดยมีปัจจัยที่ทำให้ค่ามีความผิดพลาด ได้แก่ ความผิดพลาดจากการระบุตำแหน่งปัจจุบันของ GPS และความคลาดเคลื่อนจากตัวผู้ใช้เอง

อย่างไรก็ดี เครื่องมือยังไม่สามารถสนับสนุนการรังวัดที่เป็นมุมก้มได้ดี เนื่องจากเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดมุมก้มส่วนใหญ่ ผู้ใช้จะต้องยืนอยู่บนที่สูง เช่น อาคารหรือสะพาน ซึ่งเครื่องมือจะต้องใช้ค่าระดับความสูงเหนือน้ำทะเล (Altitude) มาช่วยในการคำนวณ แต่ในปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้ยังไม่สามารถรับค่าระดับความสูงเหนือน้ำทะเลได้อย่างแม่นยำจึงทำให้ค่าที่ได้จากการทำงานมีโอกาสผิดพลาด

จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้กล้องสำรวจแบบดั้งเดิมในการวัดค่าของความสูงอาคาร โดยเมื่อเปรียบเทียบการทำงานต่างๆ ได้แก่ 1) ขั้นตอนการทำงาน 2) ทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจ และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ พบว่า การใช้งานโปรแกรมประยุกต์มีขั้นตอนในการทำงานน้อยกว่า ใช้ทรัพยากรในการสำรวจน้อยกว่า ใช้ระยะเวลาในการสำรวจน้อย เหมาะสำหรับการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากนัก

นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังได้สอบถามถึงความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้โปรแกรมประยุกต์ด้วยว่ามีความคิดเห็นกับโปรแกรมประยุกต์อย่างไร โดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ 1) ความพึงพอใจต่อการใช้โปรแกรมประยุกต์ทั่วไป และ 2) ความพึงพอใจต่อความสามารถในการสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น ซึ่งจากการสำรวจความคิดเห็นผู้ใช้งานพบว่า ทั้ง 2 หมวดมีความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ที่ 4.38 ละ 4.25 คะแนน ในระดับมากกว่า 4 หรือก็คือมีความพึงพอใจมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรแกรมประยุกต์ที่เป็นผลลัพธ์ของงานวิจัยนั้นสามารถเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้งานและสามารถสนับสนุนการสำรวจสถานที่ก่อสร้างในขั้นต้นที่เป็นจุดประสงค์ของงานวิจัยได้จริง

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

ในขั้นตอนสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นเพื่อการออกแบบการใช้พื้นที่และการวางแผนการทำงานในปัจจุบัน ยังมีปัญหาอยู่เนื่องจากในการสำรวจว่าในพื้นที่นั้นๆ มีสิ่งใดที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานหรือไม่ โดยเฉพาะการสำรวจในช่วงที่ไม่สามารถนำเครื่องมือ อุปกรณ์สำรวจ และคนงานเข้าไปในพื้นที่ได้ รวมไปถึงการสำรวจที่มีเวลาจำกัด ยังไม่มีเครื่องมือที่สามารถจะอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายและให้ผลลัพธ์ที่เป็นที่น่าพอใจ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเครื่องมือที่สามารถสำรวจได้รวดเร็วและมีความถูกต้องของข้อมูลที่อยู่ในระบบที่น่าพอใจมาช่วยในการทำงานตรงจุดนี้ นอกจากนี้เครื่องมือชิ้นนี้ยังควรจะสามารถถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการสำรวจสิ่งที่ต้องการวัดต่างๆ เพื่อช่วยในการออกแบบและวางแผนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการวางผังสถานที่ก่อสร้าง หรือขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ได้อีกด้วย

โดยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การวัดและบันทึกความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดทั้งในและนอกพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งในปัจจุบันพบว่าไม่มีความสะดวกในการสำรวจพื้นที่ก่อนทำการก่อสร้าง เนื่องจากใช้เครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดและมีขนาดใหญ่ ต้องใช้ผู้สำรวจจำนวนหนึ่ง และงานเอกสารสำหรับบันทึกผลและจัดทำรายงานจำนวนมาก จึงนำเทคโนโลยีของสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตมาพัฒนาในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์เพื่อตอบปัญหาการทำงานในส่วนนี้

จากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันพบว่า ในขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างเพื่อออกแบบพื้นที่และการวางแผนการทำงานนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการสำรวจ เนื่องจากการทำงานบางครั้งพื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ปิดที่มีตารางเวลาแน่นอน ทำให้ผู้สำรวจจะมีระยะเวลาที่จำกัดในการทำงาน รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์และเครื่องมือการสำรวจ เนื่องจากการทำงานบางครั้งผู้ว่าจ้างไม่อนุญาตให้นำกล้องสำรวจหรือทีมสำรวจเข้ามาในพื้นที่ หรือมีค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการบันทึกข้อมูลที่มีคุณภาพ และข้อจำกัดของการถ่ายโอนข้อมูล

การนำเทคโนโลยีสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตมาเป็นเครื่องมือช่วยในขั้นตอนการออกแบบการใช้พื้นที่และการวางแผนการทำงานนั้นสามารถแก้ปัญหาได้ เนื่องจากสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในปัจจุบันประกอบด้วยระบบและตัวรับสัญญาณต่างๆ ที่สามารถนำมาพัฒนาให้เหมาะสมกับการทำงานได้ จึง

สะดวกต่อการใช้งานและพกพา รวมถึงผู้ใช้งานยังมีความรู้สึที่ดีกับการใช้งานโปรแกรมประยุกต์กับการสำรวจอีกด้วย

ขั้นตอนการทำงานวิจัยเริ่มจาก 1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตช่วยในการก่อสร้างระบบปฏิบัติการไอโอเอส ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และระบบปฏิบัติการวินโดวส์โฟน 2) สำรวจโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการก่อสร้างที่มีจำหน่ายในปัจจุบันของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการไอโอเอส ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และระบบปฏิบัติการวินโดวส์โฟน 3) สำรวจขั้นตอนการทำงานและปัญหาการทำงานในปัจจุบันโดยการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ 4) ออกแบบการแสดงผลและการใช้งานของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต 5) พัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตช่วยในงานก่อสร้างระบบปฏิบัติการไอโอเอส 6) ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ 7) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการสำรวจแบบวิธีดั้งเดิมและการสำรวจโดยใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต 8) ทดสอบโปรแกรมประยุกต์โดยกลุ่มตัวอย่าง และ 9) สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

ปัญหาหลักในการรังวัดด้วยวิธีการในปัจจุบัน คือ ต้องมีการวัดตำแหน่งของฐานสิ่งกีดขวางครั้งหนึ่งก่อน แล้วจึงวัดที่ส่วนที่ต้องการวัดเพื่อหาความสูงอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการรังวัดเนื่องจากหากผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นฐานของสิ่งกีดขวาง จะทำให้ไม่สามารถวัดความสูงของสิ่งกีดขวางนั้นได้ หรือสามารถวัดได้แต่ความสูงที่ได้นั้นจะมีค่าผิดพลาดค่อนข้างมาก นอกจากนี้ยังมีปัญหาจากตัวผู้ใช้งานที่ต้องรังวัดถึง 2 จุด ทำให้มีโอกาสผิดพลาดได้มากขึ้นจากการวัดทั้ง 2 จุดนี้เอง จึงเป็นเหตุผลให้ต้องมีการประยุกต์สูตรเพื่อลดความไม่แน่นอนในทั้งสองจุดนี้ โดยการใช้ค่าที่แน่นอนจากแหล่งอื่น เช่น ดาวเทียม เพื่อลดความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นจากตัวผู้วัดหรือข้อจำกัดในการวัด

สูตรที่ใช้ในการคำนวณก็จำเป็นที่จะต้องถูกดัดแปลง เนื่องจากสูตรที่ใช้ในปัจจุบันถูกประยุกต์ใช้มาจากหลักการของสามเหลี่ยมคล้าย ซึ่งหากจะลดความไม่แน่นอนจากการรังวัดของผู้ใช้ ก็จำเป็นที่จะต้องลดจำนวนครั้งที่ต้องรังวัดลง ทำให้หลักการสามเหลี่ยมคล้ายไม่สามารถถูกนำมาใช้ได้ ซึ่งสูตรที่ถูกจัดทำขึ้นมาใหม่นี้อาศัยเพียงหลักตรีโกณมิติธรรมดาเท่านั้น โดยใช้ค่าระยะทางจากตำแหน่งของผู้ใช้ถึงจุดที่สิ่งกีดขวางนั้นตั้งอยู่ แล้วนำมาคูณกับค่าแทนเจนต์ของมุมเปิดจากตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่ ไปยังมุมยอดของสิ่งกีดขวางที่ต้องการรังวัด และปรับแก้ด้วยค่าความแตกต่างของความสูงระหว่างจุดที่ผู้ใช้และสิ่งกีดขวางอยู่ อย่างไรก็ตามก็พบว่าการทดลองเบื้องต้นก็พบว่าค่าที่ได้ยังมีความแตกต่างกับสิ่งกีดขวางอยู่บ้าง เพราะนอกจากความแตกต่างของความสูงระหว่างตำแหน่งของผู้ใช้และสิ่งกีดขวางแล้ว ยังมีค่าความสูงของระดับการถือสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตมาเกี่ยวข้องอีกด้วย

จึงทำให้ต้องมีการทดลองเพื่อให้ได้ค่าคงที่ที่เหมาะสมที่สุดกับการใช้ของผู้ใช้ทั่วไปเพิ่มเติม ในท้ายที่สุด สูตรที่ใช้ในการคำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็นทั้งหมด 7 กรณี ตามผลต่างของระดับความสูงที่ผู้ใช้ และสิ่งกีดขวางอยู่ รวมไปถึงมุมที่ผู้ใช้เล็งไปยังตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่ต้องการรังวัด

เมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ไปได้ส่วนหนึ่งแล้ว ได้มีการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ในเรื่องของตัวรับสัญญาณ GPS บนสมาร์ตโฟน พบว่ามีค่าร้อยละความผิดพลาดของพิกัด ละติจูดและลองจิจูดน้อยมาก อย่างไรก็ตาม จากทั้งหมด 7 กรณีนั้น พบว่าระบบยังไม่สนับสนุนการรังวัด ที่ผู้ใช้ไม่ได้อยู่บนพื้นดินอย่างเต็มที่เนื่องจากระบบต้องใช้ค่าความสูง ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้เข้ามาช่วยในการคำนวณหาความสูงของสิ่งที่สนใจ โดยระบบใช้ค่าพิกัดเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) ที่รับได้ด้วยเซ็นเซอร์ภายในเครื่องมือมาคำนวณ ซึ่งในปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้ยังไม่สามารถสนับสนุนการใช้ค่าพิกัดเหนือระดับน้ำทะเลได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้ค่าที่ได้จากการรังวัดมีโอกาสที่จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ต่อมา เมื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์จนเสร็จสิ้นแล้ว ได้มีการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมประยุกต์ในเรื่องของการวัดความสูงของสิ่งที่สนใจ โดยได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสมการการทำนายดังสมการ (11)

$$y = 0.0082x^2 - 0.8183x + 20.703$$

เพื่อที่จะได้ผลการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาให้ 1 ต่อ 10 หรือร้อยละ 10 ของค่าที่ถูกต้อง ตามมาตรฐานของเครื่องมือวัด ISO 10012 ค่ามุมดิ่งที่เปิดไปยังยอดของสิ่งที่ต้องการวัดควรมีค่าอยู่ในช่วง 19.23 – 80.56 องศา โดยเปิดจากแนวราบระดับสายตาผู้ใช้ และมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือเท่ากับร้อยละ 3.48 ± 1.94 หรือร้อยละ 1.54 – ร้อยละ 5.41

การใช้งานโปรแกรมประยุกต์อย่างง่ายประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกโครงการใหม่ (New Project) แล้วใส่รายละเอียดของโครงการ จะเข้าสู่หน้าต่างแผนที่ ซึ่งดึงข้อมูลมาจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บนสมาร์ตโฟน

ขั้นตอนที่ 2 ปักหมุด ณ ตำแหน่งของผู้ใช้ และสิ่งที่ต้องการวัด ข้อมูลพิกัดหมุดและความสูงพื้นดินของตำแหน่งนั้นถูกดึงมาจากระบบกำหนดตำแหน่งพื้นโลกผ่านดาวเทียมบนสมาร์ตโฟน

ขั้นตอนที่ 3 หาความสูงจากตำแหน่งที่ปักหมุดไว้ทั้งหมด 2 หมุด โดยหมุดแรกเป็นหมุด ณ ตำแหน่งของผู้ใช้ และหมุดที่สองเป็นหมุดของสิ่งที่ต้องการวัด

ขั้นตอนที่ 4 เล็งให้จุดศูนย์กลางเป้าอยู่ที่ยอดอาคาร ตัวรับสัญญาณความแรงของแรงโน้มถ่วง และตัวรับสัญญาณความเร็วเชิงมุมบนสมาร์ตโฟน จะแสดงออกมาเป็นมุม (θ) จากแนวราบ

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกและแก้ไขรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการวัด

ขั้นตอนที่ 6 สร้างรายงานของทั้งโครงการและสามารถส่งออกผ่านทาง E-mail

ขั้นตอนที่ 7 เลือกทำต่อหรือแก้ไขโครงการเก่าได้โดยเลือกเรียกโครงการเก่าขึ้นมา (Load Project) จากหน้าเมนูหลัก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ ConOHM และวิธีการทำงานแบบดั้งเดิมด้วยกล้องสำรวจ พบว่า การใช้งานโปรแกรมประยุกต์สามารถลดขั้นตอนการทำงาน ลดทรัพยากรที่ใช้ และลดเวลาที่ใช้ในการทำงานลงได้ ในขณะที่เมื่อทดลองเปรียบเทียบกับโปรแกรมประยุกต์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีให้บริการในปัจจุบันพบว่า โปรแกรมประยุกต์ ConOHM นั้นมีความถูกต้องแม่นยำกว่า เนื่องจากสามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากผู้ใช้ได้มากกว่าเพราะทำการรังวัดเพียงจุดเดียว และสามารถทำงานได้สะดวกเนื่องจากไม่จำเป็นต้องหาตำแหน่งที่มองเห็นฐานสิ่งกีดขวางก่อนการรังวัด อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์ จะพบว่าค่าความสูงที่ได้รับจากการรังวัดด้วยแสงเลเซอร์มีค่าใกล้เคียงกับการวัดระยะด้วยสายวัดมากกว่า แต่การรังวัดด้วยแสงเลเซอร์ก็มีความไม่แน่นอน เนื่องจากตำแหน่งที่แสงเลเซอร์ถูกยิงไปนั้นสามารถคลาดเคลื่อนได้ง่ายหากไม่ระมัดระวังในการวัด นอกจากนี้ เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์และโปรแกรมประยุกต์ที่ทดสอบก็ยังไม่สามารถสร้างเอกสารบันทึกจากการรังวัดและส่งออกเป็นจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ได้เหมือนกับที่โปรแกรมประยุกต์ ConOHM ทำได้ ส่งผลให้โปรแกรม ConOHM นั้นสามารถตอบสนองต่อการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างในขั้นต้นได้ดีกว่าโปรแกรมประยุกต์และอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

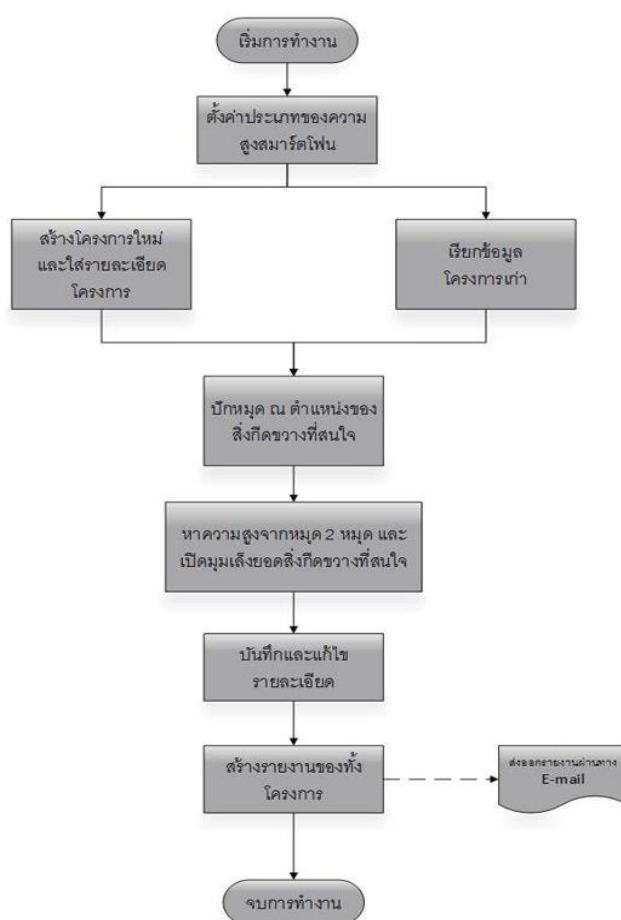
หลังจากพัฒนาและปรับแก้โปรแกรมประยุกต์แล้ว ได้มีการประเมินระดับความพึงพอใจต่อการใช้โปรแกรมประยุกต์จากการใช้งานจริงและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นตัววัดผลว่าโปรแกรมประยุกต์ในงานวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อการทำงานจริงหรือไม่ โดยผลการประเมินระดับความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยรวม 4.38 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนนในหัวข้อของความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมประยุกต์ และได้รับคะแนนรวม 4.25 คะแนนจากคะแนนเต็ม 5 ในหัวข้อของความพึงพอใจในความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้ ซึ่งคะแนนทั้งสองส่วนอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 4 ถึง 5 คะแนน หมายถึงกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจมากในการใช้และโปรแกรมประยุกต์ ConOHM สามารถสนับสนุนการทำงานสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้ตามที่วางเป้าหมายไว้

7.2 ผลการทำงานวิจัย

7.2.1 ได้ทราบถึงกระบวนการทำงานของการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างก่อนการทำงานจริง

7.2.2 ได้หลักการคิดและวิธีการคำนวณที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานด้านการสำรวจด้วยระบบต่างๆ ของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต

7.2.3 ได้โปรแกรมประยุกต์ที่สามารถวัดและบันทึกความสูงของสิ่งที่ต้องการวัดในพื้นที่ก่อสร้างและบริเวณโดยรอบ



รูป 7.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประยุกต์อย่างง่าย

7.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

โปรแกรมประยุกต์ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 ประการ ได้แก่ ความผิดพลาดจากตัวรับสัญญาณของสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ใช้

จากการทดสอบ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 ประการ ได้แก่ ประการแรก ความผิดพลาดจากประสิทธิภาพของสมาร์ตโฟนในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของ GPS หากอยู่ในที่อับสัญญาณ GPS และสัญญาณอินเทอร์เน็ต รวมถึงการรับสัญญาณความดันอากาศที่ยังไม่คงที่ ประการที่ 2 คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ใช้งานต่อไป

- 1) ผู้ใช้ปิกหมุดตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการวัดหรือตำแหน่งของผู้ใช้ผิดพลาด
- 2) ผู้ใช้ถือสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตที่ตำแหน่งสูงกว่าที่ได้ตั้งค่าคงที่ไว้ในระบบ ทำให้ค่าที่ได้หลังการคำนวณมีความคลาดเคลื่อน
- 3) ขณะวัดมุมยอดของสิ่งที่สนใจ ผู้ใช้อาจเล็งผิดพลาด ส่งผลให้มุมที่ได้รับมาไม่ถูกต้อง

อย่างไรก็ดี ยังมีข้อจำกัดของงานวิจัยอีกคือ จุดที่ต้องการวัดแต่ละจุดจำเป็นต้องอยู่ห่างกันอย่างน้อย 50 เซนติเมตร เนื่องจากข้อจำกัดของ Google Maps ที่ไม่สามารถที่จะขยายแผนที่ให้มีความละเอียดมากกว่านี้ได้ โดยจุดสี่ (Pixel) ที่แสดงใน Google Maps นั้น จำนวน 1 จุด จะรับหมุดรังวัดได้เพียงหมุดเดียว ซึ่ง 1 จุดสี่นี้มีความละเอียดที่กำลังขยายแผนที่สูงสุดคือประมาณ 50 เซนติเมตร

นอกจากนี้ ในการเพิ่มหมุดเพื่อรังวัดสิ่งที่ต้องการวัดใดๆ หากไม่มีพิกัดอ้างอิงที่แน่นอน ผู้ใช้จำเป็นต้องพิจารณาตำแหน่งที่สิ่งที่ต้องการวัดๆ นั้นปรากฏใน Google Maps ของโปรแกรมประยุกต์เอง ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องได้หากผู้ใช้ประมาณตำแหน่งได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งโปรแกรมประยุกต์สามารถสนับสนุนการทำงานในส่วนนี้ได้คือปุ่มตำแหน่ง ณ ปัจจุบัน (Current Location) โดยการที่ผู้ใช้จะต้องเดินเข้าไปยังจุดที่สิ่งที่ต้องการวัดนั้นปรากฏอยู่ จากนั้นจึงเพิ่มหมุดด้วยพิกัดที่ผู้ใช้ยืนอยู่ด้วยปุ่ม Current Location จะทำให้ระบบสามารถทราบพิกัดที่แน่นอนของสิ่งที่ต้องการวัดนั้นๆ ได้

7.4 แนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต

7.4.1 นำโปรแกรมประยุกต์ไปพัฒนาต่อยอดทำให้สามารถรองรับการทำงานอื่นๆ ได้ เช่น การวางผังสถานที่ก่อสร้าง โดยใช้การระบุตำแหน่งจากระบบ GIS เพื่อสร้างแบบจำลองของสิ่งที่ต้องการก่อสร้างและอุปสรรคในสถานที่ก่อสร้าง และสามารถใช้นับสนุนการวางแผนการทำงานในสถานที่ก่อสร้างได้ต่อไป

7.4.2 พัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการอื่นๆ เช่น แอรรอยด์ และวินโดวส์โฟน เป็นต้น



รายการอ้างอิง

Agrawal, A. K., Xu, X. and Chen, Z. (2012). "Bridge-Vehicle Impact Assessment." Retrieved May 17, 2016, from https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/technical-services/trans-r-and-d-repository/C_07_10_final%20report.pdf.

Allchin, D. (2001). "Error types." *Perspectives on Science* **9**(1): 38-58.

Apple Corporation (2017). "MapKit." Retrieved April 10, 2017, from <https://developer.apple.com/documentation/mapkit>.

Azhar, S. and Cox, A. J. (2015). Impact of Mobile Tools and Technologies on Jobsite Operations. *51st ASC Annual International Conference Proceedings*.

Construction Data Company (2014). "Construction Data's 2014 Technology Market Research." Retrieved September 1, 2016, from <https://www.slideshare.net/ConstructionData/2014-tech-survey-47333067>.

EMA (2015). "Smartphone Use by Contractors on the Jobsite Jumps 35% in Past Year." Retrieved August 5, 2016, from <http://www.mower.com/buildings-and-construction/best-practices/smartphone-use-by-contractors-on-the-jobsite-jumps-35-in-past-year/>.

Goyon, C., Davis, R. S., Bettin, H. and Toth, H. (2010). "Comparison of density measurements carried out by the PTB and the BIPM on a 1.02 kg cylinder of platinum-iridium." *Rapport BIPM* **2010**(10).

Hilti Corporation (2017). "PRODUCT LINE: PD-E." Retrieved July 10, 2017, from <https://www.hilti.com/measuring-systems/laser-range-meters/r587776>.

Kavanagh, B. F. (2009). Surveying: Principles and Applications, Pearson/Prentice Hall.

Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. New York, The Science Press.

Macfeteria (2012). "Objective-C Programming." Retrieved June 15, 2017, from <http://macfeteria.com/2012/08/06/objective-c-programming-chapter-1/>.

Miles, M. B. and Huberman, A. M. (1994). Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook, SAGE Publications.

National Research Council (1984). Geotechnical Site Investigations for Underground Projects: Volume 2. Washington, DC, The National Academies Press.

Nguyen, B. and Brilakis, I. (2016). "Understanding the Problem of Bridge and Tunnel Strikes Caused by Over-height Vehicles." Transportation Research Procedia **14**: 3915-3924.

Ogra, A. and Arora, N. (2012). "Mobile GIS for construction quality managers and surveyors." GISSA Ukubuzana 2012: Conference and Exhibition of Geo-Informatics, ICT, Surveying, Remote Sensing and Location Based Business.

Saovana, N. and Tongthong, T. (2015). A development of a supporting system for construction site layout planning. Bangkok, Chulalongkorn University. **Master**: 267.

Sharma, M., Elmiligi, H. and Gebali, F. (2014). "SMARTs: A Tool to Simulate and Analyze the Performance of Real-time Multi-core Systems." Procedia Computer Science **34**: 544-551.

Simanek, D. E. (2014). "Error Analysis (Non-Calculus)." Retrieved May 25, 2016, from <https://www.lhup.edu/~dsimanek/errors.htm>.

Sinnott, R. W. (1984). "Virtues of the Haversine." Sky and Telescope 68(2).

Statista (2010). "Number of mobile users worldwide between 2010 and 2020 (in millions)." Retrieved February 20, 2017, from <https://www.statista.com/statistics/218984/number-of-global-mobile-users-since-2010/>.

Sulbaran, T. (2013). Application Case Study of Mobile Computing to Decrease Paperwork at "Neighborhood Stabilization Program (NSP)" Construction Site. ASEE Annual Conference & Exposition 120th.

Taylor, J. R. (1997). Introduction To Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements, University Science Books.

Teo, T.-A., Wu, H.-M., Shih, T.-Y. and Tsai, F. (2014). "The Analysis Of Smartphone Apps In Geomatics Education." The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 40(6): 93.

The Economist (2015). "Planet of the phones." Retrieved June 15, 2016, from <https://www.economist.com/news/leaders/21645180-smartphone-ubiquitous-addictive-and-transformative-planet-phones>.

เอื้ออัมมาลัย, ส. (2556). วิศวกรรมสำรวจ (Survey Engineering). ปทุมธานี, สำนักพิมพ์วรรณกวี.

ชุติมา, ป. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบโปรแกรมประยุกต์ ConOHM

- การวัดความสูงด้วยอุปกรณ์ต่างๆ
- การทดสอบการใช้สมการหาความสูงทั้ง 7 กรณี
- การวัดความสูงอาคาร 5 อาคาร อาคารละ 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ครั้ง
- การวัดความสูงอาคารที่ระยะทางต่าง ๆ กัน 10 ตำแหน่ง

ตาราง ก-1 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 2.42 |
| 2 | 2.42 |
| 3 | 2.45 |
| 4 | 2.43 |
| 5 | 2.40 |
| 6 | 2.41 |
| 7 | 2.43 |
| 8 | 2.43 |
| 9 | 2.42 |
| 10 | 2.43 |
| เฉลี่ย | 2.42 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.01 |

ตาราง ก-2 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยสายวัด

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดบนอาคารวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 24.47 |
| 2 | 24.39 |
| 3 | 24.45 |
| 4 | 24.36 |
| 5 | 24.44 |
| 6 | 24.47 |
| 7 | 24.35 |
| 8 | 24.31 |
| 9 | 24.42 |
| 10 | 24.48 |
| เฉลี่ย | 24.41 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.06 |

ตาราง ก-3 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------|--|
| 1 | 2.40 |
| 2 | 2.45 |
| 3 | 2.45 |
| 4 | 2.42 |
| 5 | 2.40 |
| 6 | 2.40 |

ตาราง ก-3 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (ต่อ)

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 7 | 2.42 |
| 8 | 2.45 |
| 9 | 2.40 |
| 10 | 2.45 |
| เฉลี่ย | 2.42 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.02 |

ตาราง ก-4 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธา (เมตร) |
|----------------------|--|
| 1 | 25.34 |
| 2 | 23.33 |
| 3 | 25.32 |
| 4 | 23.83 |
| 5 | 24.54 |
| 6 | 24.79 |
| 7 | 23.98 |
| 8 | 23.86 |
| 9 | 24.77 |
| 10 | 24.90 |
| เฉลี่ย | 24.47 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.68 |

ตาราง ก-5 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรมประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดหลังคาโรงจอดรถอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) | |
|----------------------|--|---------------|
| | CamMeasure | Object Height |
| 1 | 2.53 | 2.10 |
| 2 | 2.23 | 2.20 |
| 3 | 2.35 | 2.20 |
| 4 | 2.57 | 2.10 |
| 5 | 2.49 | 2.00 |
| 6 | 2.32 | 2.30 |
| 7 | 2.20 | 2.20 |
| 8 | 2.50 | 2.10 |
| 9 | 2.52 | 2.30 |
| 10 | 2.10 | 2.10 |
| เฉลี่ย | 2.38 | 2.16 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.16 | 0.10 |

ตาราง ก-6 แสดงผลการวัดความสูงของจุดที่ต้องการวัดอาคารวิศวกรรมโยธาด้วยด้วยโปรแกรม
ประยุกต์ CamMeasure และโปรแกรมประยุกต์ Object Height

| ครั้งที่ | ความสูงของจุดที่ต้องการวัดบน อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา (เมตร) | |
|----------------------|--|---------------|
| | CamMeasure | Object Height |
| 1 | 13.49 | 10.50 |
| 2 | 13.60 | 12.40 |
| 3 | 14.50 | 13.00 |
| 4 | 13.17 | 11.50 |
| 5 | 13.04 | 10.80 |
| 6 | 12.55 | 12.60 |
| 7 | 14.58 | 11.40 |
| 8 | 12.83 | 13.20 |
| 9 | 13.59 | 10.90 |
| 10 | 13.47 | 11.30 |
| เฉลี่ย | 13.48 | 11.76 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 0.65 | 0.97 |

กรณีที่ 1

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน มุมขวาอาคารวิศวกรรมเคมี, จุดเป้าหมาย อาคารเจริญวิศวกรรม | | | | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|---|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | | | | | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.735488 | 100.533703 | 15.63 | 13.735786 | 100.533875 | 15.53 | 37.99 | 108.02 | 0.92 | 0.86 | |
| 2 | 13.735489 | 100.533708 | 15.64 | 13.735796 | 100.533820 | 15.83 | 36.22 | 110.20 | 3.10 | 2.90 | |
| 3 | 13.735488 | 100.533702 | 15.59 | 13.735788 | 100.533848 | 15.69 | 36.90 | 109.93 | 2.83 | 2.65 | |
| 4 | 13.735495 | 100.533697 | 15.64 | 13.735796 | 100.533831 | 15.78 | 36.47 | 108.38 | 1.28 | 1.19 | |
| 5 | 13.735494 | 100.533696 | 15.66 | 13.735795 | 100.533826 | 15.81 | 36.30 | 109.16 | 2.06 | 1.92 | |
| 6 | 13.735491 | 100.533696 | 15.67 | 13.735792 | 100.533815 | 15.85 | 35.85 | 104.36 | -2.74 | 2.55 | |
| 7 | 13.735492 | 100.533696 | 15.67 | 13.735798 | 100.533824 | 15.81 | 36.73 | 105.80 | -1.30 | 1.21 | |
| 8 | 13.735485 | 100.533697 | 15.66 | 13.735792 | 100.533833 | 15.78 | 37.16 | 107.41 | 0.31 | 0.29 | |
| 9 | 13.735495 | 100.533699 | 15.62 | 13.735790 | 100.533835 | 15.77 | 35.94 | 103.73 | -3.37 | 3.15 | |
| 10 | 13.735481 | 100.533704 | 15.64 | 13.735795 | 100.533840 | 15.73 | 37.88 | 108.70 | 1.60 | 1.50 | |
| เฉลี่ย | 13.735490 | 100.533700 | 15.64 | 13.735793 | 100.533835 | 15.76 | 36.74 | 107.57 | 0.47 | 1.82 | |

กรณีที่ 2

| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น ถนนข้างอาคารปฏิบัติการโยธา, จุดเข้าหมาย อาคารวิศวกรรมโยธา | | | | | | | | | | |
|----------|--|------------|------------------------|-----------|------------|---------|---------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------|------------------------|
| | จุดที่ยื่น | | จุดเข้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง (เมตร) | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | | | ระดับพื้นดิน (เมตร) |
| 1 | 13.736069 | 100.532831 | 16.46 | 13.735826 | 100.532800 | 16.14 | 27.23 | 42.22 | 26.67 | 0.67 | 2.58 |
| 2 | 13.736076 | 100.532831 | 16.50 | 13.735832 | 100.532801 | 16.14 | 27.32 | 42.14 | 26.73 | 0.73 | 2.81 |
| 3 | 13.736073 | 100.532834 | 16.45 | 13.735832 | 100.532801 | 16.17 | 27.03 | 42.39 | 26.60 | 0.60 | 2.32 |
| 4 | 13.736073 | 100.532834 | 16.48 | 13.735828 | 100.532809 | 16.18 | 27.38 | 42.05 | 26.64 | 0.64 | 2.46 |
| 5 | 13.736065 | 100.532838 | 16.50 | 13.735819 | 100.532799 | 16.13 | 27.68 | 41.95 | 26.89 | 0.89 | 3.43 |
| 6 | 13.736070 | 100.532835 | 16.48 | 13.735822 | 100.532803 | 16.15 | 27.79 | 41.83 | 26.85 | 0.85 | 3.27 |
| 7 | 13.736067 | 100.532830 | 16.46 | 13.735822 | 100.532803 | 16.15 | 27.40 | 42.23 | 26.83 | 0.83 | 3.17 |
| 8 | 13.736067 | 100.532832 | 16.47 | 13.735830 | 100.532797 | 16.13 | 26.62 | 42.58 | 26.45 | 0.45 | 1.73 |
| 9 | 13.736069 | 100.532831 | 16.48 | 13.735832 | 100.532801 | 16.18 | 26.55 | 42.69 | 26.44 | 0.44 | 1.69 |
| 10 | 13.736073 | 100.532834 | 16.48 | 13.735831 | 100.532792 | 16.10 | 27.29 | 42.20 | 26.77 | 0.77 | 2.96 |
| เฉลี่ย | 13.736070 | 100.532833 | 16.48 | 13.735827 | 100.532801 | 16.15 | 27.23 | 42.23 | 26.69 | 0.69 | 2.64 |

กรณีที่ 3

| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | จุดที่ยื่น ถนนหน้าจันทพงษ์, จุดเป้าหมาย ทรายจระจก | | | | |
|----------|------------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---|---------------------|----------------------|--------|-----------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.737429 | 100.531766 | 13.00 | 13.737340 | 100.531751 | 12.99 | 10.03 | -3.03 | 0.69 | -0.03 | 4.61 |
| 2 | 13.737433 | 100.531761 | 13.04 | 13.737339 | 100.531749 | 13.02 | 10.53 | -2.66 | 0.74 | 0.02 | 2.54 |
| 3 | 13.737431 | 100.531759 | 12.97 | 13.737338 | 100.531758 | 13.00 | 10.34 | -2.57 | 0.71 | -0.01 | 0.91 |
| 4 | 13.737422 | 100.531762 | 12.97 | 13.737337 | 100.531748 | 13.00 | 9.57 | -2.64 | 0.74 | 0.02 | 2.26 |
| 5 | 13.737430 | 100.531765 | 12.96 | 13.737340 | 100.531754 | 13.00 | 10.08 | -2.98 | 0.64 | -0.08 | 10.69 |
| 6 | 13.737427 | 100.531768 | 12.99 | 13.737346 | 100.531745 | 12.98 | 9.34 | -2.68 | 0.78 | 0.06 | 8.37 |
| 7 | 13.737430 | 100.531764 | 13.01 | 13.737337 | 100.531746 | 13.03 | 10.52 | -2.90 | 0.65 | -0.07 | 9.08 |
| 8 | 13.737425 | 100.531771 | 13.00 | 13.737340 | 100.531748 | 12.96 | 9.77 | -2.68 | 0.79 | 0.07 | 9.75 |
| 9 | 13.737432 | 100.531772 | 12.98 | 13.737341 | 100.531751 | 13.03 | 10.37 | -2.90 | 0.63 | -0.09 | 12.18 |
| 10 | 13.737436 | 100.531759 | 13.00 | 13.737334 | 100.531758 | 13.01 | 11.34 | -2.66 | 0.67 | -0.05 | 6.85 |
| เฉลี่ย | 13.737430 | 100.531765 | 12.99 | 13.737339 | 100.531751 | 13.00 | 10.19 | -2.77 | 0.70 | -0.02 | 6.72 |

กรณีที่ 4

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|-----------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735818 | 100.532920 | 16.96 | 13.735771 | 100.533148 | 17.94 | 25.18 | 31.16 | 18.79 | 38.74 | 3.69 | 14.75 |
| 2 | 13.735816 | 100.532926 | 16.98 | 13.735778 | 100.533150 | 17.90 | 24.56 | 32.43 | 18.88 | 39.91 | 4.86 | 19.39 |
| 3 | 13.735818 | 100.532924 | 16.99 | 13.735764 | 100.533146 | 17.90 | 24.72 | 30.53 | 18.16 | 37.73 | 2.68 | 10.68 |
| 4 | 13.735823 | 100.532915 | 16.98 | 13.735769 | 100.533142 | 17.91 | 25.24 | 28.87 | 18.53 | 36.40 | 1.35 | 5.39 |
| 5 | 13.735814 | 100.532919 | 16.95 | 13.735769 | 100.533147 | 17.95 | 25.13 | 24.20 | 18.05 | 31.39 | -3.66 | 14.62 |
| 6 | 13.735811 | 100.532917 | 16.96 | 13.735772 | 100.533152 | 17.92 | 25.75 | 22.97 | 18.85 | 30.80 | -4.25 | 16.97 |
| 7 | 13.735822 | 100.532922 | 16.98 | 13.735769 | 100.533143 | 17.90 | 24.59 | 19.31 | 18.64 | 26.68 | -8.37 | 33.40 |
| 8 | 13.735823 | 100.532921 | 16.97 | 13.735770 | 100.533143 | 17.97 | 24.69 | 18.87 | 19.03 | 26.39 | -8.66 | 34.59 |
| 9 | 13.735822 | 100.532925 | 16.97 | 13.735769 | 100.533148 | 17.94 | 24.80 | 18.21 | 18.32 | 25.45 | -9.60 | 38.33 |
| 10 | 13.735816 | 100.532924 | 17.00 | 13.735765 | 100.533146 | 17.97 | 24.64 | 18.50 | 18.24 | 25.65 | -9.40 | 37.53 |
| เฉลี่ย | 13.735818 | 100.532921 | 16.98 | 13.735770 | 100.533147 | 17.93 | 24.93 | | 18.55 | 31.91 | -3.14 | 22.56 |

กรณีที่ 5

| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|------------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735845 | 100.533630 | 16.32 | 13.735812 | 100.532956 | 16.96 | 72.89 | 80.97 | -40.80 | 17.40 | -8.60 | 33.07 |
| 2 | 13.735846 | 100.533627 | 16.36 | 13.735817 | 100.532960 | 16.96 | 72.12 | 80.92 | -40.97 | 17.69 | -8.31 | 31.97 |
| 3 | 13.735843 | 100.533625 | 16.33 | 13.735807 | 100.532963 | 16.96 | 71.62 | 80.13 | -41.94 | 15.14 | -10.86 | 41.75 |
| 4 | 13.735845 | 100.533625 | 16.30 | 13.735817 | 100.532952 | 16.92 | 72.76 | 81.95 | -41.24 | 17.54 | -8.46 | 32.55 |
| 5 | 13.735850 | 100.533627 | 16.35 | 13.735809 | 100.532955 | 16.94 | 72.73 | 85.14 | -41.37 | 20.49 | -5.51 | 21.18 |
| 6 | 13.735846 | 100.533631 | 16.33 | 13.735819 | 100.532961 | 16.94 | 72.43 | 84.56 | -40.78 | 21.47 | -4.53 | 17.44 |
| 7 | 13.735846 | 100.533637 | 16.31 | 13.735815 | 100.532954 | 16.98 | 73.85 | 82.85 | -41.04 | 17.88 | -8.12 | 31.22 |
| 8 | 13.735845 | 100.533626 | 16.30 | 13.735818 | 100.532962 | 17.00 | 71.78 | 86.29 | -41.78 | 21.45 | -4.55 | 17.52 |
| 9 | 13.735844 | 100.533634 | 16.29 | 13.735819 | 100.532956 | 16.92 | 73.29 | 84.55 | -41.36 | 19.39 | -6.61 | 25.41 |
| 10 | 13.735838 | 100.533628 | 16.36 | 13.735815 | 100.532958 | 16.95 | 72.42 | 86.20 | -41.52 | 21.49 | -4.51 | 17.34 |
| เฉลี่ย | 13.735845 | 100.533629 | 16.32 | 13.735815 | 100.532958 | 16.95 | 72.59 | 83.36 | -41.28 | 18.99 | -7.01 | 26.94 |

กรณีที่ 6

| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|-----------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | จุดที่ยืน | | ระดับพื้นดิน (เมตร) | จุดเป้าหมาย | | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | | | | |
| 1 | 13.735815 | 100.532953 | 16.96 | 13.735847 | 100.533650 | 16.32 | 75.37 | 23.00 | 44.79 | 98.47 | -8.63 | 8.06 |
| 2 | 13.735814 | 100.532950 | 16.97 | 13.735849 | 100.533648 | 16.33 | 75.49 | 20.35 | 43.81 | 93.42 | -13.68 | 12.77 |
| 3 | 13.735815 | 100.532954 | 16.92 | 13.735848 | 100.533650 | 16.32 | 75.27 | 21.14 | 43.71 | 93.70 | -13.40 | 12.51 |
| 4 | 13.735819 | 100.532957 | 16.96 | 13.735849 | 100.533650 | 16.36 | 74.93 | 20.30 | 44.14 | 93.62 | -13.48 | 12.59 |
| 5 | 13.735813 | 100.532950 | 16.93 | 13.735844 | 100.533648 | 16.28 | 75.47 | 20.33 | 43.95 | 93.74 | -13.36 | 12.47 |
| 6 | 13.735817 | 100.532947 | 16.92 | 13.735851 | 100.533645 | 16.32 | 75.49 | 20.43 | 43.78 | 93.38 | -13.72 | 12.81 |
| 7 | 13.735811 | 100.532959 | 16.95 | 13.735851 | 100.533657 | 16.29 | 75.53 | 20.70 | 42.97 | 91.72 | -15.38 | 14.36 |
| 8 | 13.735810 | 100.532952 | 16.93 | 13.735852 | 100.533655 | 16.28 | 76.08 | 18.63 | 43.28 | 90.93 | -16.17 | 15.10 |
| 9 | 13.735816 | 100.532954 | 16.93 | 13.735845 | 100.533657 | 16.36 | 76.00 | 19.70 | 43.60 | 92.65 | -14.45 | 13.49 |
| 10 | 13.735813 | 100.532951 | 16.95 | 13.735845 | 100.533651 | 16.31 | 75.69 | 21.89 | 43.65 | 94.74 | -12.36 | 11.54 |
| เฉลี่ย | 13.735814 | 100.532953 | 16.94 | 13.735848 | 100.533651 | 16.31 | 75.53 | 20.65 | 43.77 | 93.64 | -13.46 | 12.57 |

กรณีที่ 7

| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | altitude (เมตร) | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|------------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | จุดที่ยื่น | | ระดับพื้นดิน (เมตร) | จุดเป้าหมาย | | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | | | | |
| 1 | 13.735847 | 100.533650 | 16.32 | 13.736945 | 100.531936 | 13.49 | 221.77 | 80.57 | -20.04 | 2.51 | -10.02 | 80.00 |
| 2 | 13.735854 | 100.533650 | 16.34 | 13.736952 | 100.531938 | 13.49 | 221.59 | 80.92 | -19.83 | 3.86 | -8.67 | 69.19 |
| 3 | 13.735842 | 100.533644 | 16.31 | 13.736948 | 100.531935 | 13.52 | 221.81 | 82.25 | -19.79 | 5.23 | -7.30 | 58.30 |
| 4 | 13.735842 | 100.533650 | 16.33 | 13.736940 | 100.531940 | 13.47 | 221.41 | 80.13 | -19.86 | 3.01 | -9.52 | 75.94 |
| 5 | 13.735842 | 100.533649 | 16.35 | 13.736952 | 100.531929 | 13.49 | 223.05 | 80.44 | -19.94 | 2.38 | -10.15 | 81.00 |
| 6 | 13.735853 | 100.533650 | 16.34 | 13.736938 | 100.531936 | 13.45 | 220.98 | 81.56 | -19.73 | 5.20 | -7.33 | 58.53 |
| 7 | 13.735845 | 100.533654 | 16.32 | 13.736949 | 100.531930 | 13.46 | 223.04 | 82.68 | -19.66 | 5.85 | -6.68 | 53.28 |
| 8 | 13.735850 | 100.533652 | 16.29 | 13.736949 | 100.531931 | 13.50 | 222.46 | 81.80 | -19.77 | 4.63 | -7.90 | 63.06 |
| 9 | 13.735841 | 100.533653 | 16.32 | 13.736945 | 100.531934 | 13.45 | 222.59 | 80.03 | -19.65 | 3.42 | -9.11 | 72.71 |
| 10 | 13.735849 | 100.533657 | 16.36 | 13.736939 | 100.531943 | 13.51 | 221.28 | 83.24 | -19.86 | 6.16 | -6.37 | 50.84 |
| เฉลี่ย | 13.735847 | 100.533651 | 16.32 | 13.736946 | 100.531935 | 13.48 | 222.00 | | -19.81 | 4.22 | -8.31 | 66.29 |

| อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.736295 | 100.532856 | 16.70 | 13.735839 | 100.532799 | 16.13 | 51.08 | 25.86 | 26.95 | 0.95 | 3.65 |
| 2 | 13.736291 | 100.532854 | 16.74 | 13.735830 | 100.532802 | 16.14 | 51.57 | 25.56 | 26.88 | 0.88 | 3.40 |
| 3 | 13.736287 | 100.532857 | 16.74 | 13.735833 | 100.532797 | 16.12 | 50.90 | 25.82 | 26.87 | 0.87 | 3.33 |
| 4 | 13.736298 | 100.532851 | 16.70 | 13.735836 | 100.532800 | 16.14 | 51.67 | 25.45 | 26.77 | 0.77 | 2.96 |
| 5 | 13.736299 | 100.532855 | 16.70 | 13.735830 | 100.532802 | 16.12 | 52.46 | 25.33 | 27.03 | 1.03 | 3.97 |
| 6 | 13.736299 | 100.532855 | 16.72 | 13.735844 | 100.532799 | 16.14 | 50.95 | 25.76 | 26.79 | 0.79 | 3.03 |
| 7 | 13.736295 | 100.532856 | 16.66 | 13.735833 | 100.532797 | 16.16 | 51.77 | 25.81 | 27.16 | 1.16 | 4.45 |
| 8 | 13.736293 | 100.532850 | 16.74 | 13.735840 | 100.532804 | 16.16 | 50.62 | 25.99 | 26.88 | 0.88 | 3.37 |
| 9 | 13.736293 | 100.532850 | 16.66 | 13.735834 | 100.532811 | 16.20 | 51.21 | 25.74 | 26.77 | 0.77 | 2.96 |
| 10 | 13.736299 | 100.532855 | 16.71 | 13.735844 | 100.532799 | 16.14 | 50.95 | 25.79 | 26.81 | 0.81 | 3.12 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 0.89 | 3.42 |

| อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.736069 | 100.532831 | 16.46 | 13.735826 | 100.532800 | 16.14 | 27.23 | 42.22 | 26.65 | 0.65 | 2.48 |
| 2 | 13.736076 | 100.532831 | 16.5 | 13.735832 | 100.532801 | 16.14 | 27.32 | 42.14 | 26.70 | 0.70 | 2.71 |
| 3 | 13.736073 | 100.532834 | 16.45 | 13.735832 | 100.532801 | 16.17 | 27.03 | 42.39 | 26.58 | 0.58 | 2.22 |
| 4 | 13.736073 | 100.532834 | 16.48 | 13.735828 | 100.532809 | 16.18 | 27.38 | 42.05 | 26.61 | 0.61 | 2.36 |
| 5 | 13.736065 | 100.532838 | 16.5 | 13.735819 | 100.532799 | 16.13 | 27.68 | 41.95 | 26.87 | 0.87 | 3.33 |
| 6 | 13.736070 | 100.532835 | 16.48 | 13.735822 | 100.532803 | 16.15 | 27.79 | 41.83 | 26.83 | 0.83 | 3.17 |
| 7 | 13.736067 | 100.532830 | 16.46 | 13.735822 | 100.532803 | 16.15 | 27.40 | 42.23 | 26.80 | 0.80 | 3.07 |
| 8 | 13.736067 | 100.532832 | 16.47 | 13.735830 | 100.532797 | 16.13 | 26.62 | 42.58 | 26.42 | 0.42 | 1.63 |
| 9 | 13.736069 | 100.532831 | 16.48 | 13.735832 | 100.532801 | 16.18 | 26.55 | 42.69 | 26.41 | 0.41 | 1.59 |
| 10 | 13.736073 | 100.532834 | 16.48 | 13.735831 | 100.532792 | 16.10 | 27.29 | 42.20 | 26.74 | 0.74 | 2.86 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 0.66 | 2.54 |

| อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 3 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735943 | 100.532228 | 14.33 | 13.735831 | 100.532809 | 16.18 | 63.98 | 21.83 | 25.40 | -0.60 | 2.30 |
| 2 | 13.735949 | 100.532224 | 14.31 | 13.735837 | 100.532798 | 16.13 | 63.24 | 21.86 | 25.17 | -0.83 | 3.19 |
| 3 | 13.735939 | 100.532235 | 14.29 | 13.735835 | 100.532805 | 16.17 | 62.65 | 21.69 | 24.66 | -1.34 | 5.17 |
| 4 | 13.735949 | 100.532224 | 14.34 | 13.735835 | 100.532805 | 16.16 | 64.02 | 21.45 | 24.96 | -1.04 | 4.02 |
| 5 | 13.735945 | 100.532235 | 14.35 | 13.735828 | 100.532806 | 16.16 | 63.03 | 21.47 | 24.60 | -1.40 | 5.38 |
| 6 | 13.735938 | 100.532235 | 14.29 | 13.735838 | 100.532805 | 16.17 | 62.56 | 21.71 | 24.65 | -1.35 | 5.19 |
| 7 | 13.735939 | 100.532235 | 14.33 | 13.735838 | 100.532805 | 16.16 | 62.58 | 21.53 | 24.48 | -1.52 | 5.84 |
| 8 | 13.735949 | 100.532224 | 14.36 | 13.735838 | 100.532805 | 16.20 | 63.96 | 21.46 | 24.92 | -1.08 | 4.14 |
| 9 | 13.735937 | 100.532226 | 14.33 | 13.735831 | 100.532809 | 16.19 | 64.07 | 21.72 | 25.28 | -0.72 | 2.77 |
| 10 | 13.735937 | 100.532226 | 14.31 | 13.735830 | 100.532815 | 16.21 | 64.72 | 21.57 | 25.31 | -0.69 | 2.67 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | -1.06 | 4.07 |

| อาคารเจริญวิศวรรกรรม | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด | ความสูง | ผลต่าง | ร้อยละ |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| 1 | 13.736338 | 100.532639 | 15.80 | 13.736175 | 100.533722 | 15.67 | 118.38 | 40.80 | 103.93 | -3.17 | 2.96 |
| 2 | 13.736339 | 100.532634 | 15.81 | 13.736179 | 100.533721 | 15.67 | 118.75 | 40.87 | 104.52 | -2.58 | 2.41 |
| 3 | 13.736331 | 100.532634 | 15.77 | 13.736176 | 100.533727 | 15.65 | 119.31 | 40.31 | 102.96 | -4.14 | 3.87 |
| 4 | 13.736343 | 100.532645 | 15.81 | 13.736179 | 100.533727 | 15.65 | 118.29 | 40.94 | 104.39 | -2.71 | 2.53 |
| 5 | 13.736339 | 100.532638 | 15.84 | 13.736179 | 100.533728 | 15.64 | 119.07 | 40.82 | 104.67 | -2.43 | 2.27 |
| 6 | 13.736343 | 100.532639 | 15.84 | 13.736182 | 100.533735 | 15.61 | 119.73 | 40.42 | 103.82 | -3.28 | 3.06 |
| 7 | 13.736335 | 100.532641 | 15.84 | 13.736167 | 100.533735 | 15.63 | 119.64 | 40.73 | 104.84 | -2.26 | 2.11 |
| 8 | 13.736333 | 100.532639 | 15.76 | 13.736182 | 100.533732 | 15.62 | 119.25 | 40.48 | 103.54 | -3.56 | 3.33 |
| 9 | 13.736334 | 100.532639 | 15.76 | 13.736188 | 100.533724 | 15.65 | 118.31 | 40.71 | 103.53 | -3.57 | 3.33 |
| 10 | 13.736336 | 100.532643 | 15.82 | 13.736180 | 100.533732 | 15.63 | 118.90 | 40.50 | 103.36 | -3.74 | 3.49 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | | |

ตำแหน่งที่ 1

| อาคารเจริญวิศวรรกรรม | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| 1 | 13.735488 | 100.533703 | 15.63 | 13.735786 | 100.533875 | 15.53 | 37.99 | 70.33 | 107.99 | 0.89 | 0.83 | |
| 2 | 13.735489 | 100.533708 | 15.64 | 13.735796 | 100.533820 | 15.83 | 36.22 | 71.58 | 110.18 | 3.08 | 2.87 | |
| 3 | 13.735488 | 100.533702 | 15.59 | 13.735788 | 100.533848 | 15.69 | 36.90 | 71.20 | 109.91 | 2.81 | 2.62 | |
| 4 | 13.735495 | 100.533697 | 15.64 | 13.735796 | 100.533831 | 15.78 | 36.47 | 71.16 | 108.35 | 1.25 | 1.17 | |
| 5 | 13.735494 | 100.533696 | 15.66 | 13.735795 | 100.533826 | 15.81 | 36.30 | 71.37 | 109.13 | 2.03 | 1.90 | |
| 6 | 13.735491 | 100.533696 | 15.67 | 13.735792 | 100.533815 | 15.85 | 35.85 | 70.79 | 104.34 | -2.76 | 2.58 | |
| 7 | 13.735492 | 100.533696 | 15.67 | 13.735798 | 100.533824 | 15.81 | 36.73 | 70.60 | 105.77 | -1.33 | 1.24 | |
| 8 | 13.735485 | 100.533697 | 15.66 | 13.735792 | 100.533833 | 15.78 | 37.16 | 70.66 | 107.38 | 0.28 | 0.27 | |
| 9 | 13.735495 | 100.533699 | 15.62 | 13.735790 | 100.533835 | 15.77 | 35.94 | 70.63 | 103.70 | -3.40 | 3.17 | |
| 10 | 13.735481 | 100.533704 | 15.64 | 13.735795 | 100.533840 | 15.73 | 37.88 | 70.53 | 108.68 | 1.58 | 1.47 | |
| ตำแหน่งที่ 2 | | | | | | | | | | เฉลี่ย | 0.44 | 1.81 |

| อาคารเจริญวิศวรรกรรม | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (เมตร) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่างความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| 1 | 13.735761 | 100.533133 | 17.95 | 13.735830 | 100.533637 | 15.38 | 54.98 | 62.17 | 108.33 | 1.23 | 1.15 | |
| 2 | 13.735763 | 100.533131 | 17.94 | 13.735827 | 100.533628 | 15.41 | 54.15 | 62.63 | 108.76 | 1.66 | 1.55 | |
| 3 | 13.735757 | 100.533131 | 17.97 | 13.735816 | 100.533632 | 15.41 | 54.51 | 62.52 | 108.99 | 1.89 | 1.76 | |
| 4 | 13.735765 | 100.533131 | 17.97 | 13.735824 | 100.533637 | 15.38 | 55.05 | 62.44 | 109.69 | 2.59 | 2.41 | |
| 5 | 13.735755 | 100.533128 | 17.99 | 13.735824 | 100.533631 | 15.40 | 54.87 | 62.60 | 110.07 | 2.97 | 2.77 | |
| 6 | 13.735754 | 100.533136 | 17.95 | 13.735817 | 100.533638 | 15.39 | 54.67 | 62.39 | 108.72 | 1.62 | 1.51 | |
| 7 | 13.735763 | 100.533139 | 17.93 | 13.735832 | 100.533633 | 15.39 | 53.91 | 62.78 | 108.96 | 1.86 | 1.74 | |
| 8 | 13.735756 | 100.533129 | 17.98 | 13.735832 | 100.533638 | 15.37 | 55.63 | 62.26 | 110.00 | 2.90 | 2.71 | |
| 9 | 13.735759 | 100.533137 | 17.99 | 13.735823 | 100.533635 | 15.39 | 54.26 | 62.96 | 110.53 | 3.43 | 3.20 | |
| 10 | 13.735759 | 100.533134 | 17.94 | 13.735815 | 100.533628 | 15.42 | 53.72 | 62.80 | 108.67 | 1.57 | 1.47 | |
| ตำแหน่งที่ 3 | | | | | | | | | | เฉลี่ย | 2.17 | 2.03 |

| อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | จุดที่ยืน |
| 1 | 13.735695 | 100.533697 | 16.34 | 13.735689 | 100.533821 | 15.94 | 13.41 | 27.71 | 9.06 | 0.56 | 6.63 | |
| 2 | 13.735693 | 100.533710 | 16.37 | 13.735675 | 100.533829 | 15.97 | 13.01 | 27.56 | 8.81 | 0.31 | 3.64 | |
| 3 | 13.735703 | 100.533699 | 16.32 | 13.735669 | 100.533816 | 15.91 | 13.19 | 27.60 | 8.93 | 0.43 | 5.01 | |
| 4 | 13.735693 | 100.533706 | 16.38 | 13.735670 | 100.533820 | 15.90 | 12.58 | 27.80 | 8.73 | 0.23 | 2.72 | |
| 5 | 13.735703 | 100.533699 | 16.33 | 13.735670 | 100.533821 | 15.97 | 13.68 | 27.56 | 9.12 | 0.62 | 7.28 | |
| 6 | 13.735695 | 100.533690 | 16.34 | 13.735665 | 100.533812 | 15.96 | 13.59 | 27.05 | 8.94 | 0.44 | 5.19 | |
| 7 | 13.735707 | 100.533705 | 16.34 | 13.735666 | 100.533820 | 15.94 | 13.23 | 27.48 | 8.90 | 0.40 | 4.73 | |
| 8 | 13.735684 | 100.533709 | 16.32 | 13.735666 | 100.533826 | 15.99 | 12.80 | 27.75 | 8.68 | 0.18 | 2.14 | |
| 9 | 13.735698 | 100.533699 | 16.33 | 13.735672 | 100.533822 | 15.94 | 13.60 | 27.15 | 8.98 | 0.48 | 5.68 | |
| 10 | 13.735690 | 100.533699 | 16.35 | 13.735662 | 100.533817 | 15.97 | 13.12 | 27.44 | 8.81 | 0.31 | 3.68 | |
| ตำแหน่งที่ 1 | | | | | | | | | | เฉลี่ย | | 4.67 |

| อาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735488 | 100.533703 | 15.63 | 13.735625 | 100.533824 | 15.92 | 20.07 | 21.18 | 9.11 | 0.61 | 7.13 |
| 2 | 13.735489 | 100.533708 | 15.64 | 13.735632 | 100.533823 | 15.81 | 20.18 | 20.79 | 9.11 | 0.61 | 7.18 |
| 3 | 13.735488 | 100.533702 | 15.59 | 13.735603 | 100.533843 | 15.69 | 19.89 | 20.99 | 9.15 | 0.65 | 7.64 |
| 4 | 13.735495 | 100.533697 | 15.64 | 13.735603 | 100.533839 | 15.71 | 19.48 | 20.98 | 9.02 | 0.52 | 6.12 |
| 5 | 13.735494 | 100.533696 | 15.66 | 13.735603 | 100.533847 | 15.67 | 20.32 | 20.72 | 9.30 | 0.80 | 9.37 |
| 6 | 13.735491 | 100.533696 | 15.67 | 13.735605 | 100.533842 | 15.67 | 20.23 | 20.66 | 9.25 | 0.75 | 8.82 |
| 7 | 13.735492 | 100.533696 | 15.67 | 13.735609 | 100.533827 | 15.69 | 19.22 | 20.86 | 8.92 | 0.42 | 5.00 |
| 8 | 13.735485 | 100.533697 | 15.66 | 13.735604 | 100.533835 | 15.72 | 19.93 | 20.81 | 9.14 | 0.64 | 7.48 |
| 9 | 13.735495 | 100.533699 | 15.62 | 13.735601 | 100.533844 | 15.67 | 19.60 | 20.92 | 9.06 | 0.56 | 6.62 |
| 10 | 13.735481 | 100.533704 | 15.64 | 13.735608 | 100.533837 | 15.74 | 20.14 | 21.55 | 9.48 | 0.98 | 11.48 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 0.65 | 7.68 |

| อาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) | |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | | |
| 1 | 13.735812 | 100.533183 | 17.95 | 13.735663 | 100.533832 | 15.97 | 72.03 | 5.18 | 10.13 | 1.63 | 19.17 | |
| 2 | 13.735808 | 100.533169 | 17.94 | 13.735678 | 100.533831 | 15.96 | 72.95 | 5.26 | 10.32 | 1.82 | 21.37 | |
| 3 | 13.735815 | 100.533151 | 17.97 | 13.735671 | 100.533829 | 15.98 | 74.96 | 5.20 | 10.43 | 1.93 | 22.73 | |
| 4 | 13.735814 | 100.533197 | 17.97 | 13.735665 | 100.533827 | 15.99 | 70.04 | 5.41 | 10.23 | 1.73 | 20.39 | |
| 5 | 13.735813 | 100.533157 | 17.99 | 13.735675 | 100.533836 | 15.93 | 74.93 | 5.14 | 10.42 | 1.92 | 22.59 | |
| 6 | 13.735810 | 100.533163 | 17.95 | 13.735671 | 100.533831 | 15.97 | 73.79 | 5.36 | 10.52 | 2.02 | 23.80 | |
| 7 | 13.735809 | 100.533166 | 17.93 | 13.735675 | 100.533831 | 15.96 | 73.36 | 5.42 | 10.55 | 2.05 | 24.12 | |
| 8 | 13.735806 | 100.533182 | 17.98 | 13.735674 | 100.533829 | 15.97 | 71.41 | 5.10 | 10.00 | 1.50 | 17.68 | |
| 9 | 13.735817 | 100.533162 | 17.99 | 13.735678 | 100.533824 | 15.98 | 73.16 | 5.23 | 10.33 | 1.83 | 21.49 | |
| 10 | 13.735814 | 100.533173 | 17.94 | 13.735675 | 100.533832 | 15.95 | 72.84 | 5.40 | 10.50 | 2.00 | 23.48 | |
| ตำแหน่งที่ 3 | | | | | | | | | | เฉลี่ย | 1.84 | 21.68 |

| อาคารอนุสาสน์รัตนกรรรม | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (เมตร) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่างความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735991 | 100.532808 | 16.29 | 13.735773 | 100.533128 | 17.92 | 42.22 | 39.51 | 34.80 | -0.25 | 0.70 |
| 2 | 13.735996 | 100.532811 | 16.25 | 13.735784 | 100.533127 | 17.92 | 41.48 | 39.70 | 34.39 | -0.66 | 1.89 |
| 3 | 13.735993 | 100.532820 | 16.25 | 13.735764 | 100.533119 | 17.95 | 41.13 | 40.18 | 34.65 | -0.40 | 1.14 |
| 4 | 13.735991 | 100.532801 | 16.27 | 13.735779 | 100.533121 | 17.89 | 41.84 | 39.28 | 34.22 | -0.83 | 2.37 |
| 5 | 13.735993 | 100.532812 | 16.25 | 13.735770 | 100.533121 | 17.93 | 41.58 | 39.51 | 34.23 | -0.82 | 2.35 |
| 6 | 13.735981 | 100.532815 | 16.27 | 13.735783 | 100.533119 | 17.96 | 39.53 | 40.94 | 34.22 | -0.83 | 2.36 |
| 7 | 13.735996 | 100.532796 | 16.28 | 13.735776 | 100.533123 | 17.96 | 42.96 | 39.77 | 35.70 | 0.65 | 1.85 |
| 8 | 13.735991 | 100.532800 | 16.25 | 13.735771 | 100.533121 | 17.90 | 42.43 | 40.29 | 35.94 | 0.89 | 2.55 |
| 9 | 13.736001 | 100.532798 | 16.29 | 13.735766 | 100.533118 | 17.95 | 43.33 | 39.80 | 36.06 | 1.01 | 2.89 |
| 10 | 13.735984 | 100.532800 | 16.29 | 13.735770 | 100.533130 | 17.94 | 42.86 | 40.13 | 36.10 | 1.05 | 2.99 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | -0.02 | 2.11 |

| อาคารอนุสาสน์รัตนกรรรม | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยื่น | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (เมตร) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่างความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735486 | 100.533705 | 15.63 | 13.735683 | 100.533599 | 16.64 | 24.72 | 54.46 | 35.21 | 0.16 | 0.46 |
| 2 | 13.735489 | 100.533705 | 15.67 | 13.735642 | 100.533850 | 16.65 | 23.12 | 55.61 | 34.43 | -0.62 | 1.78 |
| 3 | 13.735492 | 100.533704 | 15.64 | 13.735682 | 100.533607 | 16.62 | 23.58 | 55.32 | 34.72 | -0.33 | 0.93 |
| 4 | 13.735492 | 100.533706 | 15.59 | 13.735689 | 100.533607 | 16.61 | 24.38 | 54.77 | 35.12 | 0.07 | 0.19 |
| 5 | 13.735487 | 100.533708 | 15.65 | 13.735676 | 100.533603 | 16.64 | 23.88 | 55.63 | 35.55 | 0.50 | 1.42 |
| 6 | 13.735488 | 100.533702 | 15.62 | 13.735682 | 100.533609 | 16.62 | 23.80 | 55.29 | 34.97 | -0.08 | 0.22 |
| 7 | 13.735485 | 100.533701 | 15.63 | 13.735685 | 100.533599 | 16.64 | 24.82 | 53.87 | 34.61 | -0.44 | 1.26 |
| 8 | 13.735494 | 100.5337 | 15.62 | 13.735684 | 100.533601 | 16.64 | 23.68 | 54.94 | 34.34 | -0.71 | 2.02 |
| 9 | 13.735484 | 100.533709 | 15.6 | 13.735677 | 100.533598 | 16.65 | 24.58 | 54.19 | 34.64 | -0.41 | 1.16 |
| 10 | 13.735487 | 100.533701 | 15.62 | 13.735683 | 100.533605 | 16.63 | 24.14 | 54.61 | 34.58 | -0.47 | 1.33 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | -0.23 | 1.08 |

| อาคารอนุสาสน์รัตนกรรรม | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 3 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.735830 | 100.533637 | 17.95 | 13.735761 | 100.533133 | 17.95 | 54.98 | 30.68 | 34.24 | -0.81 | 2.32 |
| 2 | 13.735837 | 100.533636 | 17.97 | 13.735765 | 100.533131 | 17.94 | 55.13 | 30.51 | 34.14 | -0.91 | 2.60 |
| 3 | 13.735826 | 100.533631 | 17.94 | 13.735767 | 100.533128 | 17.92 | 54.73 | 30.63 | 34.04 | -1.01 | 2.87 |
| 4 | 13.735829 | 100.533638 | 17.92 | 13.735765 | 100.533133 | 17.95 | 55.01 | 30.45 | 33.93 | -1.12 | 3.20 |
| 5 | 13.735824 | 100.533643 | 17.94 | 13.735762 | 100.533131 | 17.94 | 55.73 | 30.43 | 34.36 | -0.69 | 1.98 |
| 6 | 13.735829 | 100.533631 | 17.92 | 13.735775 | 100.533126 | 17.91 | 54.88 | 30.81 | 34.36 | -0.69 | 1.98 |
| 7 | 13.735828 | 100.533641 | 17.92 | 13.735760 | 100.533139 | 17.98 | 54.75 | 30.73 | 34.11 | -0.94 | 2.69 |
| 8 | 13.735836 | 100.533636 | 17.95 | 13.735762 | 100.533139 | 17.98 | 54.31 | 30.79 | 33.95 | -1.10 | 3.13 |
| 9 | 13.735828 | 100.533633 | 17.96 | 13.735767 | 100.533132 | 17.94 | 54.54 | 30.89 | 34.27 | -0.78 | 2.23 |
| 10 | 13.735826 | 100.533639 | 17.93 | 13.735767 | 100.533135 | 17.96 | 54.83 | 30.71 | 34.16 | -0.89 | 2.54 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | -0.90 | 2.55 |

| อาคารจักรพงษ์ | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (เมตร) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่างความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 13.737458 | 100.531972 | 13.22 | 13.737081 | 100.531866 | 13.26 | 43.46 | 15.10 | 13.31 | 0.78 | 6.21 |
| 2 | 13.737463 | 100.531978 | 13.24 | 13.737070 | 100.531885 | 13.32 | 44.84 | 15.14 | 13.67 | 1.14 | 9.12 |
| 3 | 13.737458 | 100.531978 | 13.19 | 13.737060 | 100.531875 | 13.30 | 45.63 | 15.05 | 13.78 | 1.25 | 9.98 |
| 4 | 13.737446 | 100.531964 | 13.18 | 13.737069 | 100.531881 | 13.31 | 42.87 | 15.85 | 13.66 | 1.13 | 9.03 |
| 5 | 13.737447 | 100.531980 | 13.19 | 13.737066 | 100.531891 | 13.34 | 43.44 | 15.66 | 13.65 | 1.12 | 8.93 |
| 6 | 13.737461 | 100.531980 | 13.18 | 13.737072 | 100.531860 | 13.25 | 45.16 | 15.14 | 13.77 | 1.24 | 9.88 |
| 7 | 13.737448 | 100.531979 | 13.22 | 13.737075 | 100.531856 | 13.24 | 43.55 | 15.43 | 13.62 | 1.09 | 8.70 |
| 8 | 13.737460 | 100.531963 | 13.22 | 13.737090 | 100.531876 | 13.29 | 42.20 | 15.87 | 13.55 | 1.02 | 8.12 |
| 9 | 13.737446 | 100.531968 | 13.24 | 13.737071 | 100.531859 | 13.25 | 43.33 | 15.52 | 13.64 | 1.11 | 8.88 |
| 10 | 13.737447 | 100.531977 | 13.22 | 13.737080 | 100.531876 | 13.29 | 42.24 | 15.46 | 13.23 | 0.70 | 5.61 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 1.06 | 8.44 |

| อาคารจักรพงษ์ | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|------------|----------------------------|-------------|------------|----------------------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (เมตร) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง ความสูง อาคาร (เมตร) | ร้อยละ ความ ผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับ พื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 2 | | | | | | | | | | | |
| 11 | 13.736838 | 100.532212 | 14.29 | 13.736879 | 100.531872 | 13.31 | 37.01 | 16.22 | 13.37 | 0.84 | 6.71 |
| 12 | 13.736835 | 100.532213 | 14.32 | 13.736882 | 100.531856 | 13.25 | 38.91 | 16.26 | 14.04 | 1.51 | 12.08 |
| 13 | 13.736841 | 100.53221 | 14.26 | 13.736887 | 100.531867 | 13.27 | 37.40 | 16.30 | 13.55 | 1.02 | 8.15 |
| 14 | 13.736843 | 100.532216 | 14.29 | 13.736889 | 100.531867 | 13.33 | 38.04 | 16.12 | 13.58 | 1.05 | 8.37 |
| 15 | 13.736845 | 100.532214 | 14.25 | 13.736881 | 100.531855 | 13.27 | 38.98 | 16.18 | 13.91 | 1.38 | 11.05 |
| 16 | 13.736833 | 100.532207 | 14.27 | 13.736873 | 100.531879 | 13.27 | 35.71 | 16.52 | 13.21 | 0.68 | 5.46 |
| 17 | 13.736831 | 100.532209 | 14.33 | 13.736872 | 100.531874 | 13.31 | 36.47 | 15.73 | 12.92 | 0.39 | 3.08 |
| 18 | 13.736839 | 100.532206 | 14.26 | 13.736886 | 100.531878 | 13.31 | 35.81 | 16.37 | 13.09 | 0.56 | 4.50 |
| 19 | 13.736841 | 100.532213 | 14.25 | 13.736871 | 100.531857 | 13.27 | 38.60 | 15.89 | 13.59 | 1.06 | 8.47 |
| 20 | 13.736843 | 100.532213 | 14.26 | 13.736875 | 100.531865 | 13.30 | 37.76 | 16.17 | 13.53 | 1.00 | 8.00 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 0.95 | 7.59 |

| อาคารจักรพงษ์ | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|------------|---------------------|-------------|------------|---------------------|---------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| ครั้งที่ | จุดที่ยืน | | | จุดเป้าหมาย | | | ระยะทาง | มุมยอดอาคาร (เมตร) | ความสูงอาคาร (เมตร) | ผลต่างความสูงอาคาร (เมตร) | ร้อยละความผิดพลาด (%) |
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | | | | | |
| ตำแหน่งที่ 3 | | | | | | | | | | | |
| 21 | 13.737856 | 100.532004 | 12.19 | 13.737075 | 100.531880 | 13.30 | 87.87 | 8.78 | 14.08 | 1.55 | 12.35 |
| 22 | 13.737851 | 100.532001 | 12.22 | 13.737079 | 100.531879 | 13.31 | 86.85 | 8.73 | 13.87 | 1.34 | 10.66 |
| 23 | 13.737862 | 100.532009 | 12.21 | 13.737075 | 100.531874 | 13.30 | 88.72 | 8.57 | 13.90 | 1.37 | 10.93 |
| 24 | 13.737861 | 100.53201 | 12.15 | 13.737080 | 100.531876 | 13.27 | 88.04 | 8.86 | 14.22 | 1.69 | 13.52 |
| 25 | 13.737856 | 100.532002 | 12.22 | 13.737082 | 100.531869 | 13.32 | 87.26 | 8.78 | 14.00 | 1.47 | 11.71 |
| 26 | 13.737851 | 100.532002 | 12.22 | 13.737069 | 100.531892 | 13.29 | 87.76 | 8.90 | 14.29 | 1.76 | 14.07 |
| 27 | 13.737852 | 100.532005 | 12.18 | 13.737079 | 100.531889 | 13.26 | 86.86 | 8.91 | 14.16 | 1.63 | 12.99 |
| 28 | 13.737851 | 100.531998 | 12.16 | 13.737076 | 100.531882 | 13.28 | 87.08 | 8.84 | 14.04 | 1.51 | 12.08 |
| 29 | 13.737861 | 100.532 | 12.18 | 13.737067 | 100.531886 | 13.29 | 89.14 | 8.89 | 14.45 | 1.92 | 15.35 |
| 30 | 13.737853 | 100.532006 | 12.19 | 13.737081 | 100.531884 | 13.27 | 86.85 | 8.75 | 13.91 | 1.38 | 10.99 |
| เฉลี่ย | | | | | | | | | | 1.56 | 12.47 |

| ตำแหน่งที่ | จุดที่ขึ้น | | | | จุดเป้าหมาย | | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|------------|------------|------------|------------------------|-----------|-------------|------------------------|-------------|----------|---------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | จุดเป้าหมาย | | | | | | |
| | | | | | | | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | | |
| 1 | 13.735896 | 100.532816 | 16.27 | 13.735839 | 100.532808 | 16.18 | 6.40 | 76.14 | 27.63 | 1.63 | 6.27 | | |
| 2 | 13.735957 | 100.532840 | 16.43 | 13.735846 | 100.532811 | 16.17 | 12.73 | 61.60 | 25.43 | -0.57 | 2.19 | | |
| 3 | 13.736042 | 100.532852 | 16.55 | 13.735833 | 100.532814 | 16.14 | 23.60 | 45.12 | 25.72 | -0.28 | 1.07 | | |
| 4 | 13.736141 | 100.532859 | 16.64 | 13.735841 | 100.532802 | 16.16 | 33.92 | 35.59 | 26.38 | 0.38 | 1.44 | | |
| 5 | 13.736200 | 100.532870 | 16.73 | 13.735845 | 100.532813 | 16.19 | 39.95 | 31.57 | 26.71 | 0.71 | 2.71 | | |
| 6 | 13.736288 | 100.532879 | 16.82 | 13.735844 | 100.532808 | 16.21 | 49.96 | 26.57 | 27.21 | 1.21 | 4.67 | | |
| 7 | 13.736403 | 100.532876 | 16.78 | 13.735845 | 100.532810 | 16.20 | 62.45 | 22.27 | 27.78 | 1.78 | 6.84 | | |
| 8 | 13.736509 | 100.532909 | 16.82 | 13.735834 | 100.532815 | 16.22 | 75.74 | 19.00 | 28.30 | 2.30 | 8.84 | | |
| 9 | 13.736615 | 100.532925 | 16.78 | 13.735834 | 100.532813 | 16.15 | 87.68 | 16.56 | 28.32 | 2.32 | 8.93 | | |
| 10 | 13.736707 | 100.532969 | 16.85 | 13.735832 | 100.532803 | 16.15 | 98.93 | 14.79 | 28.44 | 2.44 | 9.37 | | |
| เฉลี่ย | 13.736276 | 100.532880 | 16.67 | 13.735839 | 100.532810 | 16.18 | 49.14 | 34.92 | 27.19 | 1.19 | 5.23 | | |

| ครั้งที่ | จุดที่ขึ้น | | | | จุดเป้าหมาย | | | | ระยะทาง | มุมยอด อาคาร (องศา) | ความสูง อาคาร (เมตร) | ผลต่าง | ร้อยละความ ผิดพลาด (%) |
|----------|------------|------------|------------------------|-----------|-------------|------------------------|-------------|----------|---------|---------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | ละติจูด | ลองจิจูด | ระดับพื้นดิน (เมตร) | จุดเป้าหมาย | | | | | | |
| | | | | | | | ละติจูด | ลองจิจูด | | | | | |
| 1 | 13.736284 | 100.533653 | 15.83 | 13.736179 | 100.533726 | 15.65 | 14.09 | 81.58 | 96.98 | 10.12 | 9.45 | | |
| 2 | 13.736293 | 100.533591 | 16.09 | 13.736180 | 100.533723 | 15.67 | 19.00 | 78.91 | 98.99 | 8.11 | 7.57 | | |
| 3 | 13.736311 | 100.533415 | 16.83 | 13.736172 | 100.533727 | 15.68 | 37.08 | 69.32 | 100.99 | 6.11 | 5.71 | | |
| 4 | 13.736313 | 100.533350 | 17.11 | 13.736181 | 100.533723 | 15.69 | 42.88 | 67.97 | 109.00 | 1.90 | 1.78 | | |
| 5 | 13.736286 | 100.533117 | 17.89 | 13.736179 | 100.533733 | 15.69 | 67.59 | 56.49 | 105.90 | 1.20 | 1.12 | | |
| 6 | 13.736303 | 100.532953 | 17.16 | 13.736174 | 100.533728 | 15.68 | 84.93 | 50.45 | 105.94 | 1.16 | 1.08 | | |
| 7 | 13.736335 | 100.532714 | 16.12 | 13.736182 | 100.533722 | 15.67 | 110.20 | 43.45 | 106.46 | 0.64 | 0.59 | | |
| 8 | 13.736391 | 100.532433 | 14.93 | 13.736173 | 100.533730 | 15.65 | 142.18 | 36.30 | 105.34 | 1.76 | 1.64 | | |
| 9 | 13.736401 | 100.532326 | 14.62 | 13.736180 | 100.533731 | 15.63 | 153.74 | 34.22 | 105.17 | 1.93 | 1.80 | | |
| 10 | 13.736420 | 100.532200 | 14.26 | 13.736176 | 100.533719 | 15.69 | 166.30 | 31.79 | 103.26 | 3.84 | 3.59 | | |
| เฉลี่ย | 13.736334 | 100.532975 | 16.08 | 13.736178 | 100.533726 | 15.67 | 83.80 | 55.05 | 103.80 | 3.68 | 3.43 | | |

ภาคผนวก ข
แบบสอบถามและผลการตอบรับ

แบบสอบถาม

ส่วนที่ 1 รายการประเมินความพึงพอใจต่อโปรแกรมประยุกต์ ConOHM

ตาราง ข-1 แสดง รายการประเมินความพึงพอใจการใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM ส่วนที่ 1

| รายการประเมิน | | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---|--|------------------|---|---|---|---|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1. ด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 1.1 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความง่ายในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 1.2 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับคู่มือการใช้โปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 2. ด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 2.1 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับขนาดรูปแบบ และตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.2 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับรูปแบบและสีของพื้นหลังบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.3 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเหมาะสมของขนาด รูปแบบ สี และตำแหน่งของปุ่มกดบนหน้าจอแสดงผล | | | | | |
| 2.4 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความทันสมัยของรูปแบบโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 3. ด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | |
| 3.1 | ผู้ผู้รู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความถูกต้องในผลลัพธ์การคำนวณทางภูมิศาสตร์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |

ตาราง ข-1 แสดง รายการประเมินความพึงพอใจการใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM ส่วนที่ 1 (ต่อ)

| รายการประเมิน | | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---------------|--|------------------|---|---|---|---|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 3.2 | ผู้ใช้อู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเหมาะสมของรายงานผลการสำรวจ | | | | | |
| 3.3 | ผู้ใช้อู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับความเร็วในการตอบสนองของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |
| 3.4 | ผู้ใช้อู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับประโยชน์ของโปรแกรมประยุกต์นี้ช่วยในงานก่อสร้าง | | | | | |
| 3.5 | ผู้ใช้อู้สึกพึงพอใจมากน้อยเพียงใดกับภาพรวมของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | |

ส่วนที่ 2 แบบสำรวจความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

แบบสำรวจความคิดเห็นหลังการทดลองใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM สนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้น

หลังจากที่ท่านได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ ConOHM แล้วจึงขอสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่านในประเด็นต่างต่อไปนี้

*จำเป็น

1. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้มากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

รูป ข-1 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 2

2. ท่านคิดว่าความสามารถในการวัดความสูงของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

3. ท่านคิดว่าความสามารถในการระบุและบันทึกตำแหน่งอุปสรรคบนพื้นที่ก่อสร้างของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

4. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดระยะเวลาการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ได้
- ไม่ได้

5. ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดทรัพยากรที่ใช้การสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ได้
- ไม่ได้
- ไม่แน่ใจ

6. ท่านคิดว่าความสามารถในการสร้างรายงานการสำรวจของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากน้อยเพียงใด *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
- มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยมาก

7. ท่านคิดว่าท่านจะใช้ ConOHM ในการทำงานจริงหรือไม่ *

ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง

- ใช่
- ไม่ใช่
- ไม่แน่ใจ

รูป ข-1 แสดงตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจจากการใช้โปรแกรมประยุกต์ ส่วนที่ 2 (ต่อ)

ผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 1

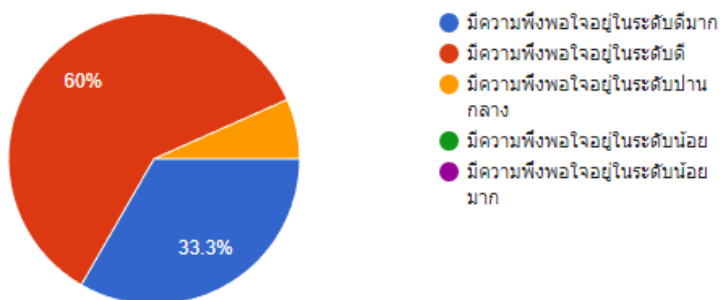
ตาราง ข-2 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ ConOHM ส่วนที่ 1

| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | | | เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก |
|--|------------------|---|---|----|----|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1.1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 22 | 4.73 |
| 1.2 | 0 | 0 | 0 | 12 | 18 | 4.60 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.67 |
| 2.1 | 0 | 0 | 1 | 17 | 12 | 4.37 |
| 2.2 | 0 | 0 | 7 | 16 | 7 | 4.00 |
| 2.3 | 0 | 0 | 6 | 13 | 11 | 4.17 |
| 2.4 | 0 | 0 | 0 | 16 | 14 | 4.47 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.25 |
| 3.1 | 0 | 0 | 0 | 14 | 16 | 4.53 |
| 3.2 | 0 | 0 | 6 | 15 | 9 | 4.10 |
| 3.3 | 0 | 0 | 0 | 20 | 10 | 4.33 |
| 3.4 | 0 | 0 | 0 | 18 | 12 | 4.40 |
| 3.5 | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 | 4.50 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ | | | | | | 4.37 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมทั้งหมด | | | | | | 4.38 |

ผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2

ท่านคิดว่า ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้มากน้อยเพียงใด

30 responses



รูป ข-2 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 1

ท่านคิดว่าความสามารถในการวัดความสูงของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากน้อยเพียงใด

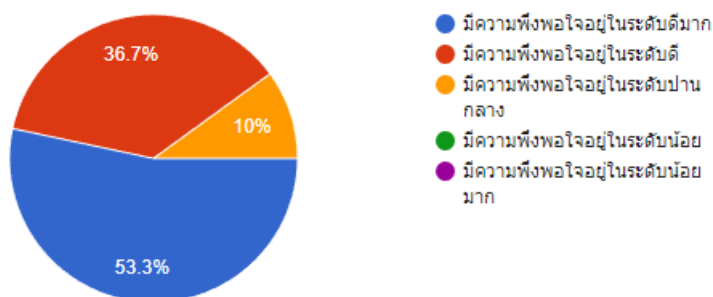
30 responses



รูป ข-3 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 2

ท่านคิดว่าความสามารถในการระบุและบันทึกตำแหน่งอุปสรรคบนพื้นที่ก่อสร้างของ ConOHM สามารถสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นมากน้อยเพียงใด

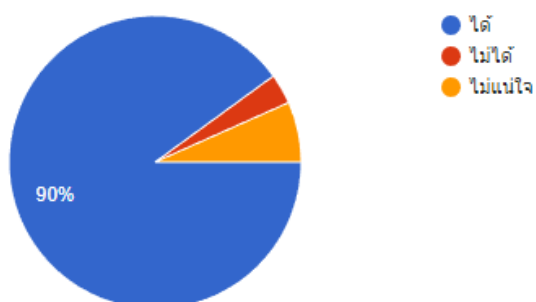
30 responses



รูป ข-4 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 3

ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดระยะเวลาการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่

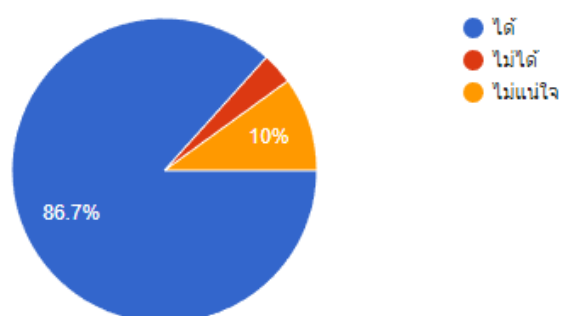
30 responses



รูป ข-5 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 4

ท่านคิดว่า ConOHM สามารถลดทรัพยากรที่ใช้การสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขั้นต้นได้หรือไม่

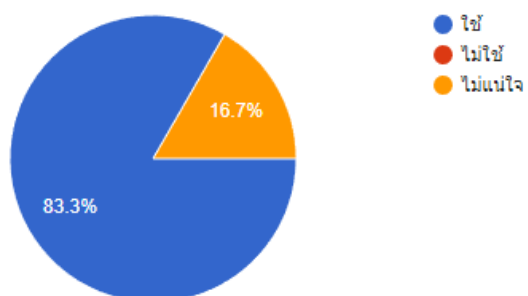
30 responses



รูป ข-6 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 5

ท่านคิดว่าท่านจะใช้ ConOHM ในการทำงานจริงหรือไม่

30 responses



รูป ข-7 แสดงผลการตอบรับแบบสอบถามส่วนที่ 2 ข้อ 6

ตาราง ข-3 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและค่าระดับความพึงพอใจในด้านการสนับสนุนงานสำรวจ
สถานที่ก่อสร้างขั้นต้น

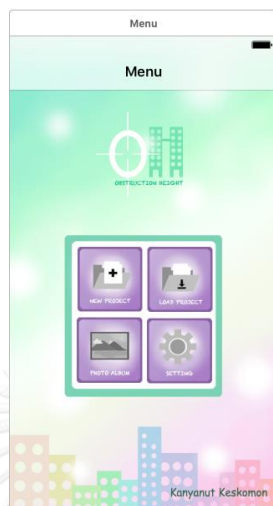
| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | | | เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก |
|---|------------------|---|---|----|----|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 | 0 | 2 | 8 | 10 | 4.27 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 17 | 13 | 4.43 |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 11 | 16 | 4.43 |
| 6 | 0 | 1 | 5 | 16 | 8 | 4.03 |
| ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจด้านการสนับสนุนการทำงาน | | | | | | 4.25 |

ตาราง ข-4 แสดงจำนวนการตอบของกลุ่มตัวอย่างสำหรับคำถามที่มีตัวเลือกได้/ไม่ได้/ไม่แน่ใจ และ
ใช่/ไม่ใช่/ไม่แน่ใจ

| รายการ | ระดับความพึงพอใจ | | | คิดเป็นร้อยละที่พึงพอใจ |
|--------|------------------|---------------|----------|-------------------------|
| | ได้/ใช่ | ไม่ได้/ไม่ใช่ | ไม่แน่ใจ | |
| 4 | 27 | 1 | 2 | ร้อยละ 90 |
| 5 | 26 | 1 | 3 | ร้อยละ 86.7 |
| 7 | 25 | 0 | 5 | ร้อยละ 83 |

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมประยุกต์



รูป ค-1 แสดงหน้าต่างเมนูของโปรแกรมประยุกต์

จากรูป ค-1 หน้าแรกของโปรแกรมประยุกต์คือต่างเมนู โดยประกอบด้วย 4 ส่วน คือ
 1) สร้างโครงการใหม่ (New Project) 2) เรียกข้อมูลโครงการเก่า (Load Project) 3) อัลบั้มรูปภาพ (Photo Album) 4) ตั้งค่า (Setting)

1) สร้างโครงการใหม่ (New Project)

เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมประยุกต์เป็นครั้งแรก ผู้ใช้ต้องสร้างโครงการใหม่ขึ้นมาโดยกดที่ปุ่มสร้างโครงการใหม่ (New Project) จากนั้นหน้าต่างสำหรับใส่รายละเอียดโครงการจะแสดงขึ้นมาโดยมีรายการ ดังนี้

- ชื่อโครงการ (Project Name)
- สถานที่ (Location)
- บริษัท (Company)
- ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการหรือชื่อผู้ใช้ (Responsible Person)
- วันที่สร้างโครงการ (Date)
- รายละเอียดอื่น (Description)

รูป ค-2 แสดงหน้าต่างบันทึกรายละเอียดโครงการของโปรแกรมประยุกต์

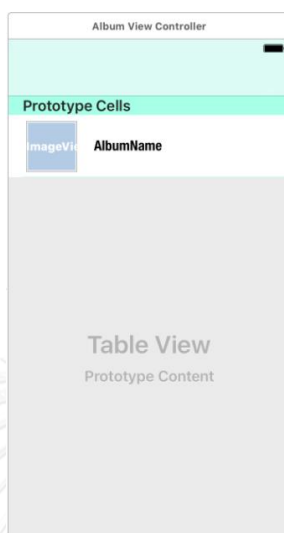
2) เรียกข้อมูลโครงการเก่า (Load Project)

หากมีโครงการที่เคยสร้างไว้อยู่แล้ว ผู้ใช้สามารถเลือกเพื่อทำต่อหรือแก้ไขได้ โดยเมื่อกดปุ่มเรียกข้อมูลโครงการเก่า (Load Project) หน้าต่างแสดงชื่อโครงการเก่าทั้งหมดที่เคยบันทึกจะแสดงขึ้นมา และเมื่อเลือกโครงการใดโครงการหนึ่งหน้าต่างถัดไปจะแสดงรายละเอียดโครงการที่เคยบันทึกไว้ สามารถแก้ไขและบันทึกใหม่ได้

รูป ค-3 แสดงหน้าต่างโครงการเก่าที่เคยบันทึก

3) อัลบั้มรูปภาพ (Photo Album)

เมื่อกดปุ่มอัลบั้มรูปภาพ (Photo Album) จะแสดงหน้าต่างของรูปภาพหน้าจอโดยแบ่งเป็นโครงการที่บันทึกไว้ โดยในโปรแกรมประยุกต์นี้จะมีปุ่มให้บันทึกภาพในหน้าต่างแผนที่ และหน้าต่างผลของการวัดความสูงสิ่งกีดขวาง



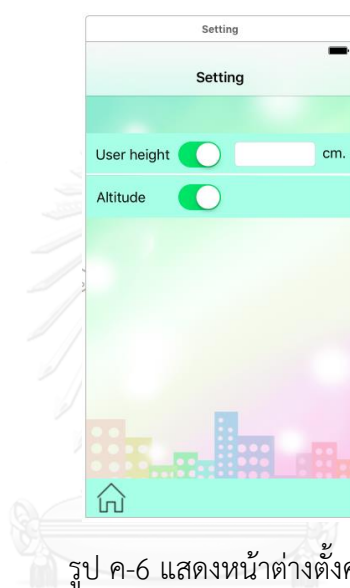
รูป ค-4 แสดงหน้าต่างอัลบั้มรูปภาพโดยแบ่งเป็นโครงการที่บันทึก



รูป ค-5 แสดงหน้าต่างอัลบั้มรูปภาพโครงการที่เลือก

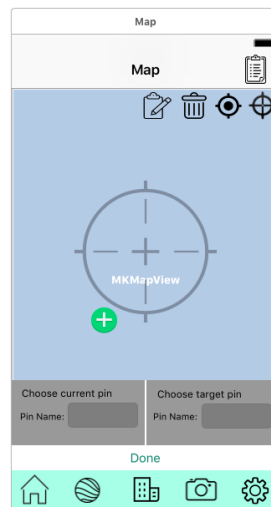
4) ตั้งค่า (Setting)

การตั้งค่าในโปรแกรมประยุกต์นี้เป็นการตั้งค่าข้อมูลประกอบการหาความสูงในแนวตั้งของสิ่งกีดขวาง โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ผู้ใช้ยืนอยู่บนพื้นดิน และกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน หากผู้ใช้ยืนอยู่บนพื้นดิน ผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูลความสูงของผู้ใช้ และหากผู้ใช้ไม่ได้ยืนอยู่บนพื้นดิน ผู้ใช้จะต้องเลือกตัวเลือก Altitude อย่างไรก็ตามจะต้องเลือกกรณีใดกรณีหนึ่งเท่านั้น ซึ่งผู้พัฒนาได้กำหนดไว้ในโปรแกรมแล้วว่าหากผู้ใช้เปิดใช้งานตัวเลือกใด ตัวเลือกอื่นจะปิดอัตโนมัติ




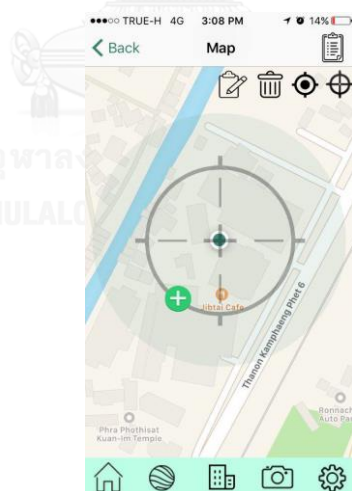
รูป ค-6 แสดงหน้าต่างตั้งค่า

ก่อนที่จะสามารถวัดความสูงของสิ่งกีดขวางได้ โปรแกรมประยุกต์จะต้องมีข้อมูลของหมุดที่แสดงตำแหน่งและรายละเอียดของสิ่งกีดขวางนั้นเสียก่อน โดยหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าต่างที่ดึงข้อมูลแผนที่ทางภูมิศาสตร์ ดังรูป ค-7



รูป ค-7 แสดงหน้าต่างแผนที่ทางภูมิศาสตร์

เมื่อมีสิ่งกีดขวางที่สนใจ ผู้ใช้จะต้องเพิ่มหมุดลงไปในพื้นที่ โดยจะมีเป้าที่สามารถเปิดปิดได้ให้สามารถเล็งตำแหน่งการวางหมุดได้สะดวกมากขึ้น การเพิ่มตำแหน่งของหมุดทำได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ให้ผู้ใช้ยืน ณ ตำแหน่งของสิ่งกีดขวางนั้น แล้วเลือกปุ่ม Current Location  ซึ่งจะแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ ดังจุดสีเขียวเข้มในรูป ค-8 จากนั้นจึงทำการเพิ่มหมุด



รูป ค-8 แสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้พร้อมเป้าเพิ่มตำแหน่งหมุด

วิธีที่ 2 คือผู้ใช้สามารถเพิ่มหมุดลงไปในพื้นที่ได้เลย หากสิ่งกีดขวางที่สนใจแสดงอยู่ในแผนที่ อย่างไรก็ตาม หน้าแผนที่ที่ตั้งไว้เป็นค่าเริ่มต้นจะเป็นแผนที่ที่แสดงรูปร่างสิ่งกีดขวางอย่างง่าย ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนรูปแบบของแผนที่เพื่อแสดงสิ่งกีดขวางได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูป ค-9



(ก)





(ข)






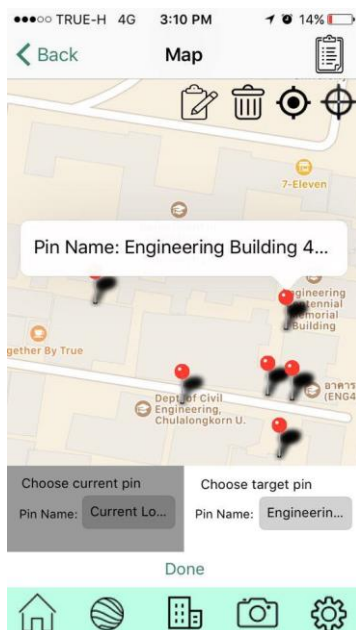
(ค)

รูป ค-9 แสดงรูปแบบของแผนที่ทั้งหมดในโปรแกรมประยุกต์

จากรูป ค-9 (ก) จะเป็นแผนที่ที่แสดงรูปร่างสิ่งกีดขวางอย่างง่ายและถนน ผู้ใช้สามารถใช้แผนที่นี้ได้หากสิ่งกีดขวางเป็นอาคาร ถนน และสนามหญ้า แต่หากสิ่งกีดขวางเป็นประเภทอื่นแผนที่ดังรูป ค-9 (ข) และ (ค) จะสามารถเห็นสิ่งกีดขวางได้ชัดเจนขึ้น

หมุดที่ถูกเพิ่มเข้าไปในหน้าแผนที่ดังกล่าวจะดึงข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากดาวเทียมมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม ได้แก่ ค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูงของระดับพื้นดิน อย่างไรก็ตามผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลบางประการของหมุดได้เมื่อกดปุ่ม Edit  (ยกเว้นค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูงของระดับพื้นดิน) หรือสามารถลบหมุดที่ไม่ต้องการได้โดยกดปุ่ม Delete 

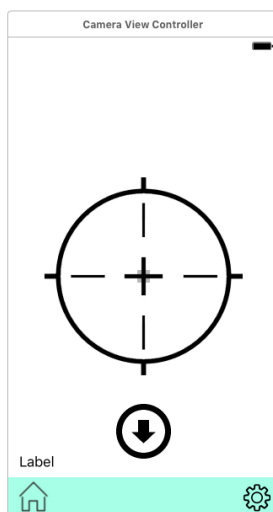
ก่อนการเข้าสู่กระบวนการหาความสูงแนวตั้งของสิ่งกีดขวาง ผู้ใช้จะต้องตั้งค่าค่างที่สำหรับใช้ในการคำนวณเสียก่อน โดยกดปุ่ม Setting  ในหน้าแผนที่ หรือกดปุ่ม Setting  ในหน้า Menu ดังรูป ค-1 เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว การหาความสูงแนวตั้งของสิ่งกีดขวางจะเริ่มจากกดปุ่ม Height  จากนั้นด้านล่างของหน้าต่างจะมีกล่องให้เลือกหมุด 2 หมุดคือหมุดที่เป็นตำแหน่งของผู้ใช้ (Current Pin) และหมุดที่เป็นตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง (Target Pin) ดังรูป ค-10 จากนั้นกดปุ่ม Done โปรแกรมประยุกต์จะไปยังหน้าต่างถัดไป ค่าที่นำเข้าจะเป็นค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูงของระดับพื้นดินของทั้งสองจุด



รูป ค-10 แสดงกล่องเลือกหมวด 2 หมวดเพื่อหาความสูง

หน้าต่างถัดไปนี้เป็นหน้าต่างสำหรับรับค่ามุมตั้งของจุดสูงสุดของ
 สิ่งกีดขวาง ดังรูป ค-11 โดยผู้ใช้งานจะต้องเล็งจุดกึ่งกลางของเป้าไปยังจุดสูงสุดของสิ่งกีดขวาง จากนั้นกด
 ปุ่มถ่ายภาพ ไป


รแกรมประยุกต์จะเข้าสู่กระบวนการคำนวณหาความสูงโดยแบ่งออกเป็น 7 กรณีตั้งที่กล่าวไว้ข้างต้น
 และได้ผลของค่าความสูงดังรูป ค-12



รูป ค-11 แสดงหน้าต่างรับค่ามุมตั้งของจุดสูงสุดของสิ่งกีดขวาง




รูป ค-12 แสดงหน้าต่างส่วนแสดงภาพสิ่งกีดขวางและผลลัพธ์ของการวัดความสูง

หากผู้ใช้อยู่ยังไม่พอใจกับผลลัพธ์ ผู้ใช้สามารถย้อนกลับไปยังหน้าที่ผ่านมาเพื่อทำการวัดใหม่ หรือหากผู้ใช้พอใจกับผลลัพธ์แล้ว ให้ผู้ใช้กดปุ่ม  เพื่อไปยังหน้าต่างถัดไป

หน้าต่างถัดไปจะเป็นหน้าต่างแสดงรายละเอียดของทุกสิ่งกีดขวางที่สนใจ ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลเบื้องต้นได้ รวมถึงผลของการวัดความสูงแนวตั้งของสิ่งกีดขวางจะถูกบันทึกลงในหน้านี้โดยอัตโนมัติด้วย ดังรูป ค-13



รูป ค-13 แสดงหน้าต่างรายละเอียดของทุก

ในหนึ่งโครงการผู้ใช้สามารถสร้างหมุดของสิ่งกีดขวางจำนวนเท่าใดก็ได้ โดยข้อมูลทั้งหมดสามารถนำไปสร้างรายงานได้โดยกดปุ่ม  ในหน้าต่างรูป ค-7 ข้อมูลในรายงานจะประกอบด้วยรายละเอียดโครงการที่เคยบันทึกไว้เมื่อสร้างโครงการ ได้แก่ ชื่อโครงการ วันที่สร้างโครงการ ชื่อผู้รับผิดชอบ และสถานที่ รวมถึงข้อมูลหมุดและรายละเอียดหมุดทุกหมุดที่มีในหน้าแผนที่ ได้แก่ ชื่อหมุด ประเภทของหมุด พิกัดละติจูด ลองจิจูด ความสูงระดับพื้นดิน และความสูงแนวตั้งของสิ่งกีดขวาง ดังรูป ค-14 รายงานนี้สามารถส่งออกด้วยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ดังรูป ค-15

| | | | |
|---------------------|---------------------------------|-------|------------------|
| Project Name: | <u>Data Collection 1</u> | Date: | <u>12/1/2017</u> |
| Responsible Person: | <u>Kanyanut Keskomon</u> | | |
| Location: | <u>Chulalongkorn University</u> | | |
| Note: | <u></u> | | |

| Pin Name | Pin Type | Latitude | Longitude | Ground Level Height | Obstruction Height | Note |
|----------------------------|------------------|-----------|------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Current Location1 | Current Location | 13.736333 | 100.532654 | 15.856753 | | |
| Engineering Building 4 (3) | Building | 13.735828 | 100.533630 | 16.401630 | 106.522664 | For Current Location3 |
| Current Location2 | Current Location | 13.735489 | 100.533695 | 15.656672 | | |
| Engineering Building 4 (2) | Building | 13.735802 | 100.533769 | 15.980844 | 106.101842 | For Current Location2 |
| Engineering Building 4 (1) | Building | 13.736190 | 100.533734 | 15.606467 | 106.285617 | For Current Location1 |
| Current Location3 | Current Location | 13.735783 | 100.533146 | 17.987564 | | |

รูป ค-14 แสดงหน้าต่างรายงาน



รูป ค-15 แสดงหน้าต่างส่งออกรายงานด้วยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านอินเทอร์เน็ต

ภาคผนวก ง

อื่น ๆ

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|-------------------------|-----------------------------------|--|
| Accelerate.framework | 4.0 | ประกอบด้วยฟังก์ชันคณิตศาสตร์เรื่องความเร่งและระบบนำทางด้วยสัญญาณไฟ (Digital Picking System; DPS) |
| Accounts.framework | 5.0 | ประกอบด้วยส่วนการจัดการสำหรับเข้าถึงบัญชีผู้ใช้ |
| AddressBook.framework | 2.0 | ประกอบด้วยฟังก์ชันสำหรับเข้าถึงฐานข้อมูลของบัญชีผู้ใช้โดยตรง |
| AddressBookUI.framework | 2.0 | ประกอบด้วยการแสดงส่วนระบบการเลือกและแก้ไขการแสดงผล |
| AdSupport.framework | 6.0 | ประกอบด้วยส่วนการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ |
| AssetsLibrary.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนการเข้าถึงรูปถ่ายและวิดีโอของผู้ใช้ |
| AudioToolbox.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนของการจัดการข้อมูลสำหรับเล่นหรืออัดเสียง |
| AudioUnit.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการเข้าถึงและการใช้ข้อมูลเสียง |
| AVFoundation.framework | 2.2 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการเล่นและอัดเสียงและวิดีโอสำหรับภาษา Objective-C โดยเฉพาะ |
| AVKit.framework | 8.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการเล่นและอัดเสียงหรือวิดีโอสำหรับภาษา Objective-C โดยเฉพาะ |

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode (ต่อ)

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|--------------------------|-----------------------------------|--|
| CFNetwork.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการเข้าถึงเครือข่าย Wi-Fi และระบบสื่อสารวิทยุ |
| CloudKit.framework | 8.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานในการสำรองข้อมูลบน iCloud |
| CoreAudio.framework | 2.0 | สามารถใช้งานข้อมูลตัวหนังสือผ่านทางข้อมูลเสียง |
| CoreAudioKit.framework | 8.0 | สามารถใช้งานชุดข้อมูลตัวหนังสือผ่านทางข้อมูลเสียง |
| CoreBluetooth.framework | 5.0 | สามารถเข้าถึงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Bluetooth พลังงานต่ำ |
| CoreData.framework | 3.0 | ประกอบด้วยส่วนของการใช้งานสำหรับการจัดการรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์ |
| CoreFoundation.framework | 2.0 | สามารถใช้บริการพื้นฐานของโปรแกรม รวมถึงข้อมูล การจัดเก็บ และการจัดการแหล่งที่มาของข้อมูล |
| CoreGraphics.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของระบบนาฬิกา Quartz 2D. |
| CoreImage.framework | 5.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการปรับวิดีโอและภาพนิ่ง |
| CoreLocation.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานเรื่องการค้นหาสถานที่ของผู้ใช้ |
| CoreMedia.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการปรับข้อมูลเสียงและวิดีโอ |
| CoreMIDI.framework | 4.2 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการปรับข้อมูล MIDI |

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode (ต่อ)

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| CoreMotion.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานของการเข้าถึงตัวรับสัญญาณความเร่งของแรงโน้มถ่วง และตัวรับสัญญาณความเร็วเชิงมุม |
| CoreTelephony.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนของการเข้าถึงระบบสื่อสาร |
| CoreText.framework | 3.2 | ประกอบด้วยข้อมูลตัวอักษร |
| CoreVideo.framework | 4.0 | ประกอบด้วยการจัดการความจำของการถ่ายวิดีโอ |
| EventKit.framework | 4.0 | ประกอบด้วยการเข้าถึงปฏิทินและกิจกรรมของผู้ใช้ |
| UIKit.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนของการแสดงผลของระบบปฏิทินแบบพื้นฐาน |
| ExternalAccessory.framework | 3.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น |
| Foundation.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงการจัดการข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูล |
| GameController.framework | 7.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานสำหรับการสื่อสารภายในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเกม |
| GameKit.framework | 3.0 | ประกอบด้วยส่วนการใช้งานสำหรับจัดการการเชื่อมต่อระหว่างคนสู่คน |
| GLKit.framework | 5.0 | ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุ (Class) ที่ใช้งานภาษา Objective-C สำหรับสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการใช้งาน OpenGL ES แบบซับซ้อน |
| GSS.framework | 5.0 | ให้บริการชุดพื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัย |

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode (ต่อ)

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| HealthKit.framework | 8.0 | ให้แนวทางในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของผู้ใช้ |
| HomeKit.framework | 8.0 | ให้บริการสำหรับการติดต่อสื่อสารกับเครื่องใช้ในบ้านทั่วไป |
| iAd.framework | 4.0 | ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุสำหรับแสดงผลโฆษณาในโปรแกรม |
| ImageIO.framework | 4.0 | ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุสำหรับอ่านและเขียนข้อมูลภาพ |
| IOKit.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลที่ถูกใช้โดยตัวอุปกรณ์ |
| JavaScriptCore.framework | 7.0 | ประกอบด้วยชุดข้อมูล Objective-C สำหรับประเมิน JavaScript และวิเคราะห์คำในประโยค JSON |
| LocalAuthentication.framework | 8.0 | ให้การสนับสนุนสำหรับการยืนยันผู้ใช้ผ่าน Touch ID |
| MapKit.framework | 3.0 | ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุสำหรับฝั่งหน้าต่างแสดงผลแผนที่ในโปรแกรมและการถอดพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ |
| MediaAccessibility.framework | 7.0 | จัดการการนำเสนอข้อมูลคำบรรยายแบบซ่อนได้ในไฟล์สารสนเทศ |
| MediaPlayer.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลสำหรับเล่นไฟล์วิดีโอแบบเต็มหน้าจอ |
| MediaToolbox.framework | 6.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลสำหรับเล่นไฟล์เสียง |
| MessageUI.framework | 3.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลสำหรับสร้างและจัดลำดับข้อความจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ |
| Metal.framework | 8.0 | ให้บริการเครื่องมือในการปรับแต่งภาพที่ใช้ทรัพยากรน้อย |

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode (ต่อ)

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| MobileCoreServices.framework | 3.0 | ให้ข้อมูล Uniform type identifiers (UTIs) ที่ระบบสนับสนุน |
| MultipeerConnectivity.framework | 7.0 | ให้ส่วนการแสดงผลของการเชื่อมต่อระหว่างคนสู่คนผ่านอุปกรณ์หลายๆเครื่อง |
| NetworkExtension.framework | 8.0 | ให้ส่วนการแสดงผลของการตั้งค่าและควบคุมการสนับสนุน VPN |
| NewsstandKit.framework | 5.0 | ให้ส่วนการแสดงผลของการดาวน์โหลดเบื้องหลังของข้อมูลหนังสือพิมพ์และนิตยสาร |
| NotificationCenter.framework | 8.0 | ให้ส่วนการแสดงผลของการแจ้งเตือนจากโปรแกรมย่อยๆ |
| OpenAL.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลของ OpenAL ซึ่งเป็นที่เรียกใช้ไฟล์เสียงบอกตำแหน่ง |
| OpenGLES.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนการแสดงผลของ OpenGL ES ซึ่งเป็นรุ่นที่ถูกฝังอยู่ใน OpenGL สำหรับเรียกการแสดงผลระหว่าง 2D และ 3D |
| Photos.framework | 8.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลของการเข้าถึงและควบคุมรูปภาพและวิดีโอ |
| PhotosUI.framework | 8.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับสร้างส่วนเสริมของโปรแกรมที่ควบคุมรูปภาพและวิดีโอ |
| PushKit.framework | 8.0 | ให้เป็นทางผ่านของโปรแกรม VOIP สำหรับลงทะเบียนอุปกรณ์ |
| QuartzCore.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลหลักของภาพเคลื่อนไหว |
| QuickLook.framework | 4.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับแสดงไฟล์เป็นตัวอย่างก่อนเลือกใช้ไฟล์นั้นๆ |
| SafariServices.framework | 7.0 | สนับสนุนการสร้างรายการอ่านของข้อมูลในเว็บเบราว์เซอร์ |

ตาราง ง-1 แสดง Framework พื้นฐานในโปรแกรม Xcode (ต่อ)

| ชื่อ | เวอร์ชันขั้นต่ำที่สามารถใช้งานได้ | รายละเอียด |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| SceneKit.framework | 8.0 | ให้ส่วนแสดงผลสำหรับสร้างภาพ 3D |
| Security.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับจัดการกับการขอลายรับรอง, ค่าความเป็นส่วนตัวและสาธารณะ และนโยบายที่เชื่อถือได้ต่างๆในอินเทอร์เน็ต |
| Social.framework | 6.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับปฏิสัมพันธ์กับบัญชีสังคมออนไลน์ต่างๆ |
| SpriteKit.framework | 7.0 | อำนวยความสะดวกในการสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบอ้างอิงภาพเล็กๆและการแปลงภาพ |
| StoreKit.framework | 3.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับรับมือกับการจัดการทางธุรกรรมที่เกี่ยวข้องกับการซื้อของภายในโปรแกรม |
| SystemConfiguration.framework | 2.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับตั้งค่าเครือข่ายในอุปกรณ์ |
| Twitter.framework | 5.0 | ประกอบด้วยส่วนแสดงผลสำหรับส่งข้อความผ่านทางบริการ Twitter |
| UIKit.framework | 2.0 | ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุและขั้นตอนการทำงานของหน้าต่างแสดงผลของผู้ใช้ในโปรแกรมของ iOS |
| VideoToolbox.framework | 6.0 | ประกอบด้วยแถบเครื่องมือในการทำงานเพื่อบีบอัดและแปรค่าข้อมูลรอมวิดีโออย่างง่าย |
| WebKit.framework | 8.0 | ให้การสนับสนุนสำหรับการจัดสรรเนื้อหาเกี่ยวกับเว็บไซต์ลงในโปรแกรมของผู้ใช้ |

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกัญญณัฐ เกษโกมล เกิดวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2534 มีภูมิลำเนาอยู่จังหวัดนนทบุรี จบการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมก่อสร้างและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

