การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบูรณาการข้อมูลสำรวจหาค่าความหนาแน่นในสนาม
Development of Information Technology for Field Density Survey System

กวินธิดา ปิ่นทอง[1] สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว[2,*] อภินิติ โชติสังกาศ[2] และ พงษ์พันธุ์ อิศโรทัยกุล[3]

[1]นักเรียน โรงเรียนสตรีวิทยา ๒ ในพระราชูปถัมภ์ฯ
[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] วิศวกร บริษัท เซ้าท์อีสเอเชียเทคโนโลยี จำกัด
**Corresponding author; E-mail address: fengssck@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารเข้ามามีบทบาทในการทำงานเกือบทุกภาคส่วน ความสะดวกรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูลทำให้การทำงานหลายอย่างเปลี่ยนไป การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในงานสำรวจและเก็บข้อมูลค่าความหนาแน่นและความชื้นในสนามด้วยวิธีการใช้ทราย โดยได้ทำการพัฒนาระบบและ Mobile application สำหรับการวางแผนการสำรวจ การเก็บรวบรวมข้อมูลหน้าสนาม การวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ การสรุปผล และการแสดงผลลัพธ์ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลของแต่ละกระบวนการข้างต้น ทำให้สามารถจ่ายงานผ่านทาง Web application ให้กับผู้สำรวจ ผู้สำรวจสามารถใช้ Mobile application บันทึกแต่ละขั้นตอนการทำงานในภาคสนามและส่งข้อมูล เช่น รูปภาพ ตำแหน่งสำรวจ และข้อมูลผลการตรวจวัดในสนามไปยังฐานข้อมูลกลาง เมื่อตัวอย่างดินถูกส่งถึงห้องปฏิบัติการ ผู้ทดสอบสามารถเรียกดูข้อมูลและรายงานผลการทดสอบ ผ่านทาง Web application และผู้ใช้ข้อมูลสามารถเรียกดูข้อมูลในมิติต่างๆ เช่น กราฟหรือแผนที่ได้

การสำรวจ, ความหนาแน่นในสนาม, การพัฒนาระบบสารสนเทศ, Mobile application

Abstract

Nowadays technology has taken a big role in almost everything. One advantage of this applied science is the ease to access, therefore many working system changes. This study aims to apply this technology for field density and moisture survey by developing a system and a mobile application for survey planning, field data collection, laboratory analysis, summary of results and in the end, report. The developed system can connect all mentioned processes. Therefore, works can be tasked by web application for surveyor. Surveyor then can use mobile application to collect each process in the field and send back information such as pictures, site location and acquired field information to the data center. After the delivery of soil sampling to the laboratory, the user can ask for the data and can report via the web application. Moreover, user can require for other information such as graph or map as well.

Keywords: Survey, Field density, Information technology development, Mobile application

1. คำนำ

การก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน หรือพื้นอาคารที่วางบนดิน จะต้องทำการบดอัดดินให้แน่น ซึ่งการหาความหนาแน่นของดินที่บดอัดนั้นสามารถอ้างอิงกับมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ เช่น มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) หรือมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) เป็นต้น โดยการทดลองหาค่าความหนาแน่นของดินสามารถทำได้หลายวิธีโดยการหาค่าความหนาแน่นโดยใช้ทราย (Sand cone method) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันในหน่วยงานดังกล่าว [1-5] หลักการสำรวจด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยการขุดหลุมบริเวณตำแหน่งบดอัด จากนั้นนำน้ำหนักดินที่ขุดออกหารด้วยปริมาตรหลุม จะได้ความหนาแน่นของดินในสนาม แต่ในการสำรวจจริงจะมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งในสนามและในส่วนของห้องปฏิบัติการที่มีรายละเอียดและมีความจำเป็นต้องบันทึกผลค่อนข้างมาก

ที่ผ่านมาการสำรวจและการเก็บรวบรวมข้อมูลหน้าสนามมักจะอาศัยการบันทึกผลโดยผู้ปฏิบัติงานขณะปฏิบัติงานในภาคสนาม ทำให้เกิดความยุ่งยากระหว่างการปฏิบัติงาน และมีความเสี่ยงที่ข้อมูลจะเกิดการผิดพลาดและสูญหายได้ โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมี 2 กลุ่มคือ 1) ข้อมูลที่ต้องส่งตัวอย่างให้ห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบหาค่า และ 2) ข้อมูลที่สามารถตรวจวัดอ่านค่าจากสนามได้ การวางแผนในการสำรวจจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเตรียมกำหนดตำแหน่ง และอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการสำรวจให้พร้อมเพื่อลดปัญหาในการดำเนินงาน ทั้งนี้ยังรวมถึงการส่งตัวอย่างมายังห้องปฏิบัติการและรอผลการทดสอบเพื่อจัดทำรายงานการสำรวจของจุด

สำรวจนั้นๆ ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลได้ถูกพัฒนาทำให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆเข้าด้วยกัน [6-7] ผู้ใช้สามารถกำหนดงาน (Assign task) ให้กับผู้สำรวจ (Surveyor) สามารถส่งรายการสำรวจให้กับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ (Laboratory staff) เพื่อเตรียมชุดเก็บตัวอย่างและติด QR-Code ของจุดที่จะสำรวจให้กับชุดเก็บตัวอย่าง ผู้สำรวจจะได้รับงานสำรวจพร้อมรายละเอียดผ่านทาง Mobile application และเมื่อผู้สำรวจถึงหน้างาน ผู้สำรวจเชื่อมต่อ Mobile application กับเครื่องมือสำรวจที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบได้ ทำให้สามารถอ่านค่าจากเครื่องมือ สามารถบันทึกการสำรวจอื่นๆ เช่นค่าพิกัดจุดสำรวจด้วย GPS สามารถถ่ายภาพขั้นตอนการสำรวจ สามารถแจ้งสถานะการสำรวจเช่น รับงาน เริ่มสำรวจ สำรวจแล้วเสร็จ ส่งตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการ ได้ผลทดสอบ ปิดงานเป็นต้น ขั้นตอนทั้งหมดสามารถส่งกลับมายัง Server ของระบบผ่านทาง Mobile application ในส่วนของห้องปฏิบัติการก็เช่นกันสามารถที่จะอัพเดตข้อมูลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดิน จะเห็นได้ว่าสิ่งที่กล่าวข้างต้นสามารถเชื่อมโยงและต่อเนื่องได้ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบัน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์ออกแบบและพัฒนาระบบที่สามารถช่วยทั้งในการวางแผนสำรวจ การจัดเตรียมชุดอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง การบันทึกข้อมูลหน้างาน การอัพเดทผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ และการแสดงผลลัพธ์ได้อย่างเป็นระบบ โดยในเบื้องต้นนี้ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับงานตรวจวัดค่าความหนาแน่นและความชื้นในสนามโดยใช้ทราย ซึ่งสามารถทำการระบุตำแหน่งปฏิบัติการ แจกจ่ายงานและจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบคลาวด์ พร้อมทั้งสามารถสั่งพิมพ์รายงานผลการตรวจวัดได้ โดยในอนาคตสามารถต่อยอดพัฒนาให้ใช้กับการสำรวจด้านธรณีเทคนิคด้วยวิธีอื่นๆได้อีกหลากหลาย

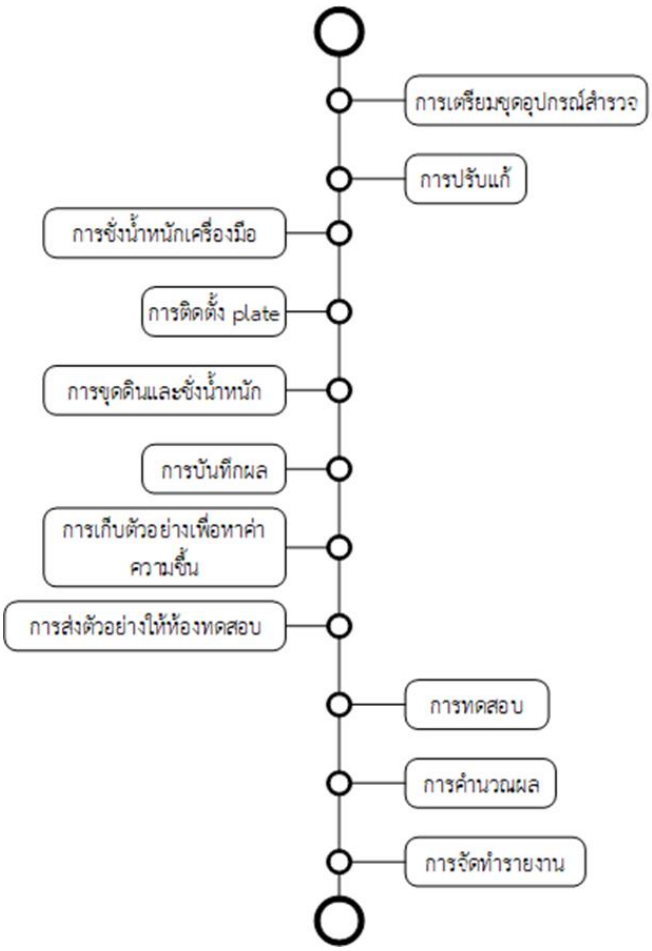
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อวิเคราะห์ออกแบบและพัฒนาระบบที่ใช้ในการบูรณาการข้อมูลการสำรวจความหนาแน่นและความชื้นของดินในภาคสนาม
- เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมโยงข้อมูล
- เพื่อพัฒนา Mobile application สำหรับการทำงานสำรวจความหนาแน่นและความชื้นของดินในภาคสนาม
- เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ

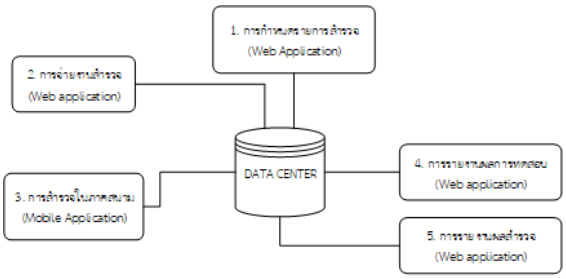
3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาขั้นตอนการสำรวจหาค่าความหนาแน่นและความชื้นของวัสดุบดอัดในสนามโดยใช้ทราย ศึกษากิจกรรมที่ต้องดำเนินการทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ซึ่งพบว่าขั้นตอนการดำเนินงานมีความเกี่ยวข้องกับคน เครื่องมือและลำดับขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานในปัจจุบัน

จากขั้นตอนในการทำงานพบว่าการทำงานจะมีผู้เกี่ยวข้องกับการสำรวจ 2 กลุ่ม คือกลุ่มผู้ดำเนินการในส่วนสนามและในส่วนสำนักงาน/ห้องปฏิบัติการ ในการพัฒนาระบบจึงออกแบบให้มีการทำงานทั้งสองส่วนต่อเนื่องกัน โดยส่วนของสำนักงาน/ห้องปฏิบัติการจะทำงานผ่านทาง Web browser และในส่วนของภาคสนามจะใช้การทำงานผ่านทาง Mobile application เป็นหลักโดยมี Data center เป็นศูนย์กลางของการทำงาน



รูปที่ 2 การเชื่อมโยงของข้อมูลของระบบ

3.1 ผู้ใช้งานระบบ

ระบบถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถ Login เข้าสู่ระบบได้ด้วย Social login เช่น LINE, Facebook เพื่อความสะดวกในการทำงาน โดยผู้ใช้จะต้องขอเป็นสมาชิกระบบโดยระบบยืนยันตัวตนของ LINE, Facebook ก่อนและรอให้ผู้ดูแลระบบยืนยันตัวตนเพื่อจะเป็นสมาชิกและสามารถเข้าใช้ระบบได้

ระบบที่พัฒนาแบ่งผู้ใช้เป็น 4 กลุ่มประกอบด้วย 1) ผู้ดูแลระบบ (Admin) 2) ผู้ใช้งานในส่วนสำนักงาน (Office user) 3) เจ้าหน้าที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory user) และ 4) เจ้าหน้าที่สำรวจในภาคสนาม (Surveyor, Mobile user) โดยแต่ละกลุ่มมีหน้าที่ดังนี้

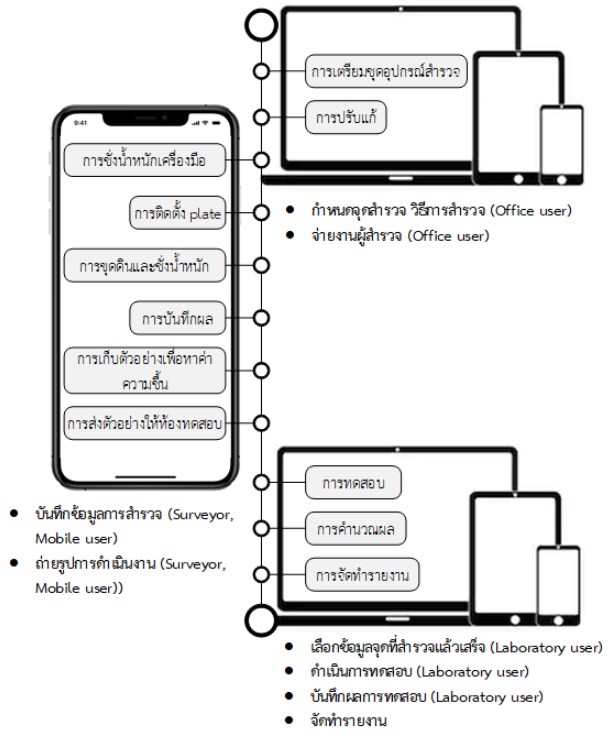
1) ผู้ดูแลระบบ (Admin) ทำหน้าที่ตรวจสอบยืนยันรายชื่อผู้สมัครเข้าสู่งานระบบ พร้อมกำหนดสิทธิต่างๆ ของผู้ใช้ระบบ

2) ผู้ใช้งานในส่วนสำนักงาน (Office user) ทำหน้าที่จ่ายงาน เพิ่มลดปรับเปลี่ยนข้อมูลให้ทันสมัย

3) เจ้าหน้าที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory user) ทำหน้าที่เตรียมข้อมูล ปรับแก้ข้อมูลก่อนออกสนาม เตรียมชุดอุปกรณ์ ทดสอบวัสดุที่ได้รับจากการสำรวจในภาคสนาม และรายงานผลการทดสอบ

4) เจ้าหน้าที่สำรวจในภาคสนาม (Surveyor, Mobile user) ทำหน้าที่ทดสอบและรายงานผลการทดสอบจากสนาม

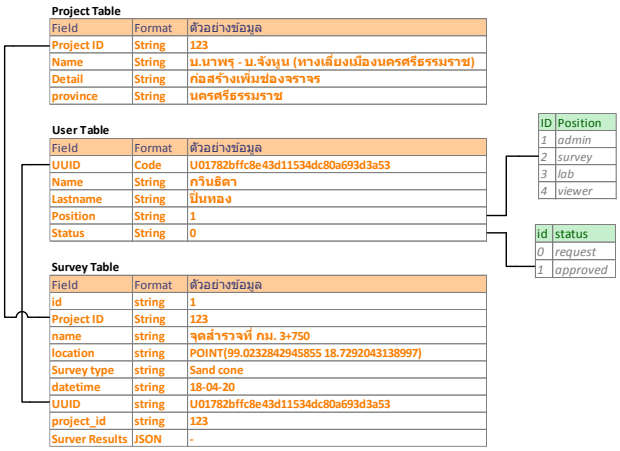
ดังแสดงความเกี่ยวข้องของผู้ใช้งานระบบในขั้นตอนการสำรวจดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการใช้งานระบบ

3.2 โครงสร้างข้อมูลของระบบ

โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยตารางหลัก 3 ตารางคือ 1) ตารางโครงการ (Project) ทำหน้าที่เก็บรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ ในโครงการจะมีจุดสำรวจได้หลายจุด ซึ่งการกำหนดจุดสำรวจจะต้องอยู่ภายใต้โครงการใดโครงการหนึ่งก่อนจึงจะกำหนดการสำรวจได้ 2) ตารางผู้ใช้งานระบบ (User) ตารางนี้เป็นตารางที่มีรายละเอียดของผู้ใช้งานระบบ ผู้ใช้งานระบบจะต้องขอเข้าเป็นสมาชิกของระบบก่อนโดยใช้บัญชี Social account ของตนยืนยันตัวกับ LINE หรือ Facebook และเมื่อ LINE หรือ Facebook แจ้งยืนยันว่าผู้สมัครมีตัวตน Social account จริงในระบบของผู้ให้บริการระบบที่พัฒนาจะนำรายชื่อผู้ร้องขอเข้ามาเป็นสมาชิกมาลงในตารางนี้ โดยมีสถานะ (Status) เป็น “Request” เพื่อรอผู้ดูแลระบบตรวจสอบและอนุญาตพร้อมกำหนดตำแหน่งงานต่อไป 3) ตารางงานสำรวจ (Survey) ผู้ใช้ที่มีสิทธิ์ส่วนสำนักงาน (Office user) จะทำหน้าที่เพิ่มจุดสำรวจ โดยเริ่มต้นจากการเลือกโครงการที่ต้องการสำรวจ และกำหนดตำแหน่งที่ต้องการให้สำรวจ และสุดท้ายเลือกผู้สำรวจจากรายชื่อผู้ใช้งานระบบที่มีตำแหน่งเป็นผู้สำรวจจากฐานข้อมูลผู้ใช้งานระบบ เพื่อกำหนดตัวผู้รับผิดชอบ ระบบถูกออกแบบมาให้สามารถเลือกผู้ใช้งานได้มากกว่า 1 คน เพื่อความสะดวกในการทำงานในภาคสนาม ดังแสดงความเชื่อมโยงของตารางหลักในรูปที่ 4



Project Table

Field	Format	ตัวอย่างข้อมูล
Project ID	String	123
Name	String	บ.นาพรุ - บ.จังหูน (ทางเลี่ยงเมืองนครศรีธรรมราช)
Detail	String	ก่อสร้างเพิ่มช่องจราจร
province	String	นครศรีธรรมราช

User Table

Field	Format	ตัวอย่างข้อมูล
UUID	Code	U01782bffc8e43d11534dc80a693d3a53
Name	String	กวินธิดา
Lastname	String	ปิ่นทอง
Position	String	1
Status	String	0

ID	Position
1	admin
2	survey
3	lab
4	viewer

id	status
0	request
1	approved

Survey Table

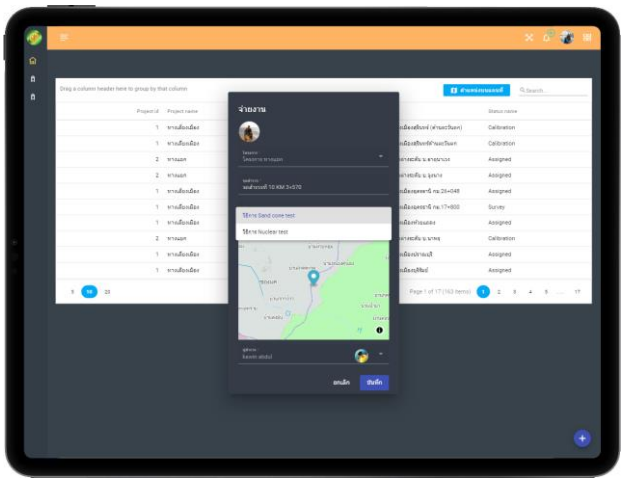
Field	Format	ตัวอย่างข้อมูล
id	string	1
Project ID	String	123
name	string	จุดสำรวจที่ กม. 3+750
location	string	POINT(99.02328429455855 18.7292043138997)
Survey type	string	Sand cone
datetime	string	18-04-20
UUID	string	U01782bffc8e43d11534dc80a693d3a53
project_id	string	123
Surver Results	JSON	-

รูปที่ 4 ความเชื่อมโยงข้อมูลของตารางหลักของระบบ

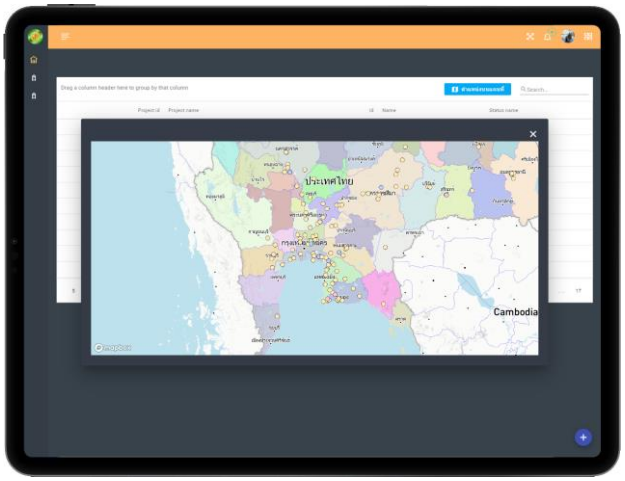
3.3 การใช้งานระบบ

การใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น ในเบื้องต้นได้นำไปทดสอบการใช้งานบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน และในพื้นที่สำรวจที่จังหวัดชัยนาท เพื่อสรุปปัญหาอุปสรรคและปรับแก้ระบบ

โดยการใช้งานระบบจะเริ่มจากการกำหนดจุดสำรวจและการมอบหมายงานสำรวจ โดยผู้ใช้งานในส่วนสำนักงานจะทำการกำหนดจุดสำรวจและรายละเอียดการสำรวจ และกำหนดตัวผู้สำรวจดังแสดงในรูปที่ 5 และการแสดงข้อมูลแผนที่จุดสำรวจในรูปที่ 6

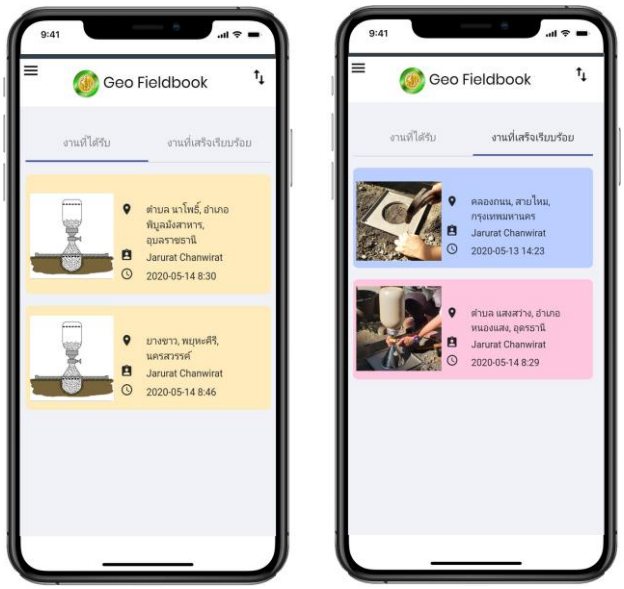


รูปที่ 5 การกำหนดจุดสำรวจโดย Office user



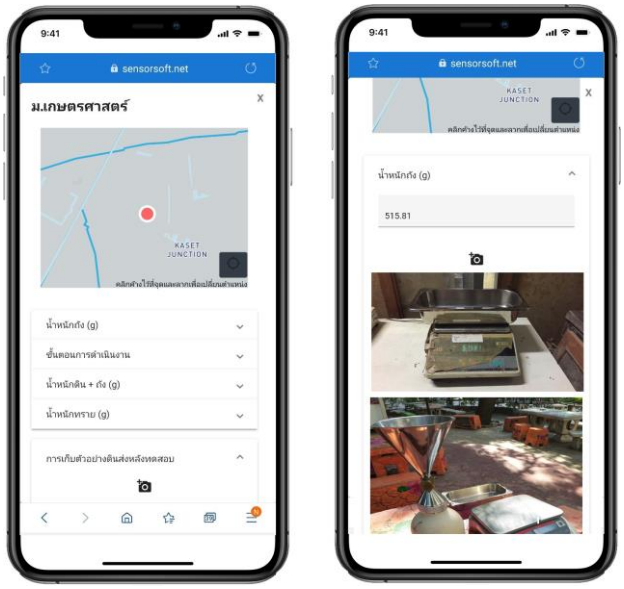
รูปที่ 6 แผนที่จุดสำรวจทั้งหมดที่มีการจ่ายงานสำรวจ

ผู้สำรวจเมื่อเปิด Mobile application แล้วจะปรากฏข้อมูลรายการสำรวจที่ตนได้รับ และรายการสำรวจที่ดำเนินการแล้วเสร็จ ขั้นตอนในการสำรวจเริ่มจากผู้สำรวจทำการเลือกรายการที่ต้องการสำรวจดังแสดงในรูปที่ 7



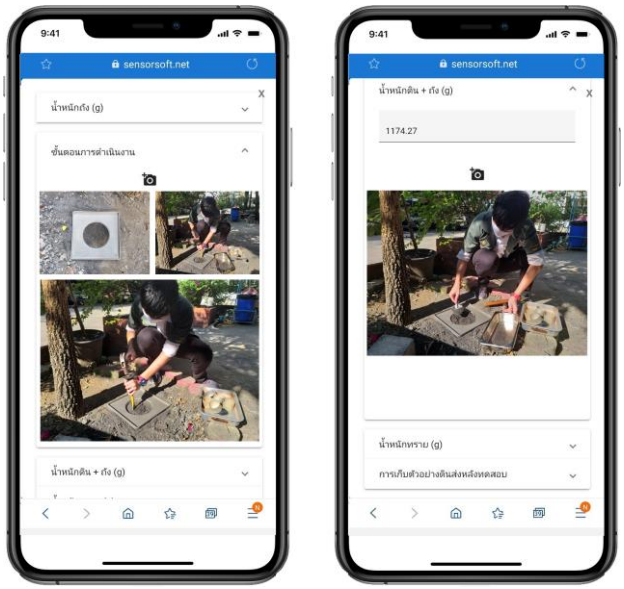
รูปที่ 7 รายการสำรวจที่ได้รับ รายการสำรวจที่แล้วเสร็จ

เมื่อผู้สำรวจได้เลือกรายการสำรวจที่ได้รับเพื่อดำเนินการสำรวจแล้ว ระบบจะแสดงหน้ารายการที่มีรายละเอียด ชื่อโครงการ ชื่อจุดสำรวจ รายการสำรวจ และตำแหน่งการสำรวจ ผู้ใช้สามารถใช้ GPS เพื่อรายงานตำแหน่งสำรวจจริงในสนามได้ดังแสดงในรูปที่ 8

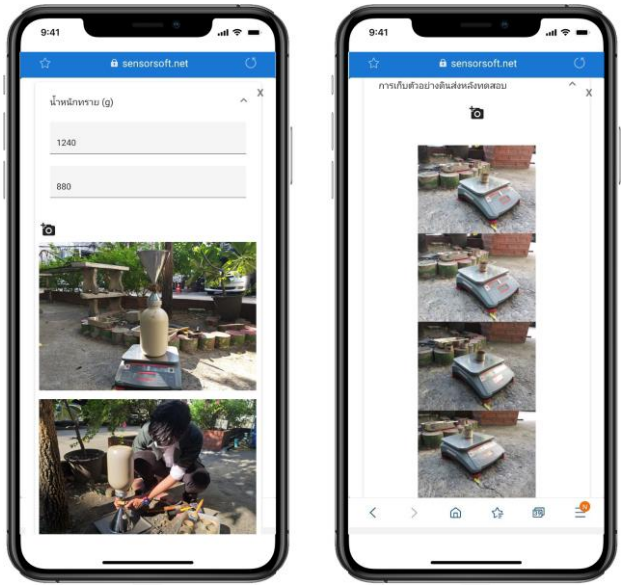


รูปที่ 8 รายละเอียดรายการสำรวจที่ได้รับ และการรายงานข้อมูลสำรวจ

ผู้ใช้งานในภาคสนามจะเริ่มการเก็บและรายงานข้อมูลจากสนามโดยเริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์สำรวจ การเตรียมพื้นที่สำรวจ การถ่ายรูปขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ การขุดหลุม และการเก็บตัวอย่างดิน



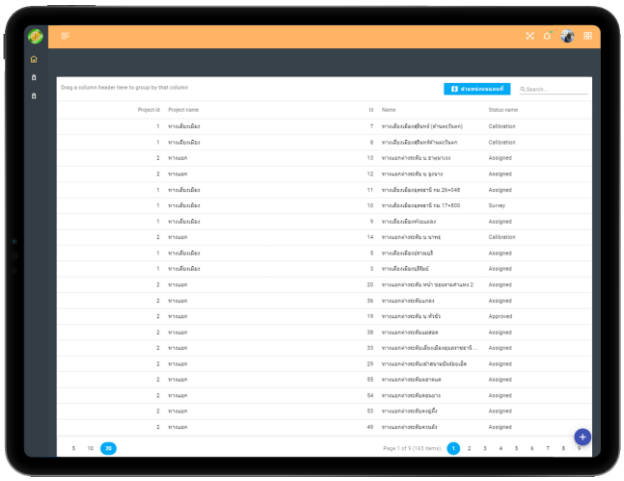
รูปที่ 10 การแทนที่ทรายลงหลุม การเก็บตัวอย่างดินเพื่อส่งห้องปฏิบัติการ

การเก็บข้อมูลในภาคสนามแบ่งเป็นกลุ่มกิจกรรมและขั้นตอนการดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 1

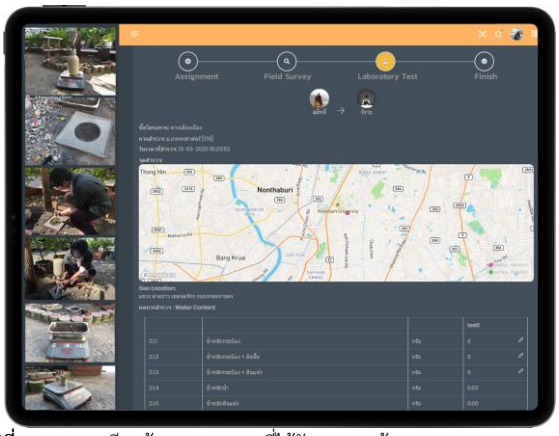
ตารางที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการและกิจกรรม

หัวข้อ	รายงานตัวเลขผลการตรวจวัด	ภาพถ่าย
สภาพพื้นที่	พิกัด GPS	สภาพพื้นที่จุดสำรวจ
ชุดอุปกรณ์	น้ำหนักภาชนะใส่ดินที่จะขุดจากหลุม	ภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำรวจ
ขั้นตอนการทำงาน	ไม่มี	ภาพขั้นตอน การดำเนินการ ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุด
รายงานน้ำหนักดิน + ภาชนะ	น้ำหนักภาชนะใส่ดิน ที่มีดินทั้งหมดที่ขุดจากหลุม	ภาพการชั่งน้ำหนักดินในภาชนะบรรจุดินที่ขุดขึ้นมา
รายงานน้ำหนักทราย+กรวยและขวด (Jar & Cone)	น้ำหนักก่อนและหลังเททราย	ภาพถ่ายขณะชั่งน้ำหนัก
การเก็บตัวอย่างดินสำหรับทดสอบความชื้น	น้ำหนักดิน + กระป๋อง	ภาพถ่ายขั้นตอนการบรรจุดินลงภาชนะเก็บตัวอย่างดิน ให้เห็นรายละเอียดหมายเลขของภาชนะ

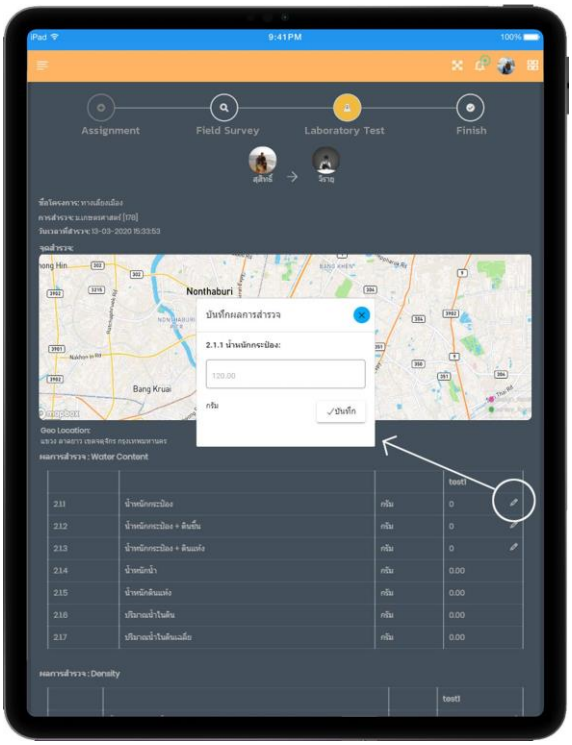
ภายหลังจากที่ตัวอย่างดินถูกส่งมาถึงห้องปฏิบัติการ ผู้ทดสอบสามารถเรียกดูรายละเอียดการสำรวจจากภาคสนาม พร้อมรูปภาพที่ส่งมาจากสนามได้ โดยเลือกจากรายการสำรวจที่แสดงในตารางรายการสำหรับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ จะแสดงเฉพาะจุดสำรวจที่ผ่านการสำรวจด้วย Mobile application เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 11 และรูปที่ 12 และภายหลังผู้ทดสอบได้ทำการทดสอบตัวอย่างดินเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ทดสอบสามารถกรอกข้อมูลการทดสอบของตัวอย่างที่เลือกได้ ระบบจะทำการคำนวณและแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 11 เลือกจุดสำรวจที่ดำเนินการสำรวจในภาคสนามแล้ว เพื่อดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 12 รายละเอียดข้อมูลจากสนามที่ได้รับรายงานด้วย Mobile application ภาคสนามแล้ว



รูปที่ 13 การรายงานผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

4. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบรวมทั้งจัดทำ Mobile application สำหรับใช้ในการบูรณาการข้อมูลการสำรวจความหนาแน่นและความชื้นของดินในภาคสนามโดยใช้ทราย เพื่อให้การทำงานทั้งหมดตั้งแต่การทำงานในสำนักงาน การทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม เป็นไปอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ลดการทำงานซ้ำซ้อน และลดการสูญหายของข้อมูล โดยโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ได้รับการทดสอบใช้งานที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนและในพื้นที่สำรวจที่จังหวัดชัยนาท และพร้อมให้ผู้สนใจสามารถนำไปใช้งานได้โดยการสมัครเข้ามาเป็นผู้ใช้งานระบบเพื่อให้ผู้ดูแลระบบกำหนดสิทธิ์การใช้งานเพื่อใช้งานต่อไป ทั้งนี้ในอนาคตระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดและขยายผลการศึกษาไปสู่การสำรวจด้านธรณีเทคนิคอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการเจาะสำรวจดิน การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยใบพัด การทดสอบด้านธรณีฟิสิกส์ ฯลฯ อันจะส่งผลให้การจัดการข้อมูลสำรวจขนาดใหญ่ของโครงการก่อสร้างต่างๆในอนาคตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับการเอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบความหนาแน่นและความชื้นโดยใช้ทราย ขอบคุณบริษัท เซ็นเซอร์ซอฟท์ จำกัด (SensorSoft Co., Ltd.) สำหรับความเอื้อเฟื้อเรื่องสถานที่ อุปกรณ์เทคโนโลยี และซอฟต์แวร์ต่าง ๆ สำหรับการพัฒนาระบบจ่ายงานสำรวจ ระบบจัดทำรายงานผลการสำรวจและ Mobile application ของงานวิจัย และขอขอบคุณนายนรินทร์ หรรษชัยนันท์ และนายจิรายุ พงษ์รัตน์สำหรับความช่วยเหลือในการปฏิบัติการทดสอบหาค่าความหนาแน่นในสนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง (2517) มาตรฐานที่ ทล.-ท. 603/2517 วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย

[2] กรมทางหลวงชนบท (2545) มาตรฐานที่ มทช. (ท) 501.4-2545 วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field Density Test)

[3] กรมโยธาธิการและผังเมือง (2557) มาตรฐานที่ มยผ. 2204-57 มาตรฐานการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field Density Test)

[4] American Association of State Highway Transportation Officials (2014) AASHTO-T191 Standard Method of Test for Density of Soil In-Place by the Sand-Cone Method

[5] American Society for Testing and Materials (2015) ASTM D1556/D1556M-15e1, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015

[6] Bentley (2020) gINT Solution for Mobile Data Collection. Retrieved March 14, 2020, from https://www.bentley.com/en/products/product-line/geotechnical-engineering-software/gint-collector

[7] Papadopoulou M.A., Ioannidis G.S. (2018) Mobilizing the Semantic Interpreter Pythia – Teaching Engineering Students to Integrate GIS and Soil Data During In Situ Measurements. In: Auer M., Tsiatsos T. (eds) Interactive Mobile Communication Technologies and Learning. IMCL 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 725. Springer, Cham