การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ

นายสิทธิณัฐ ศรีน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPLICATION OF AUGMENTED REALITY FOR PROGRESS TRACKING IN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION: A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT

Mr. Sittinut Srinoi

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ
โดย	นายสิทธิณัฐ ศรีน้อย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิทธิณัฐ ศรีน้อย : การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ. (AN APPLICATION OF AUGMENTED REALITY FOR PROGRESS TRACKING IN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION: A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธนิต ธงทอง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางใหม่ในการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน แทนการใช้งานเอกสารประกอบการติดตามความคืบหน้าอย่างในปัจจุบันซึ่งยากต่อการนำไปเปรียบเทียบกับสภาพงานตามจริงของโครงการ การวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบการติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างผ่านการสร้างแบบจำลองความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality) ซึ่งเกิดจากการดึงข้อมูลของแผนการทำงานจากโปรแกรมจัดการโครงการและแบบจำลองสามมิติจากระบบสารสนเทศอาคาร (BIM) โดยแบบจำลองความเป็นจริงเสริมที่ได้สามารถแสดงสภาพของโครงการตามแผนงานตามวันที่กำหนด จากนั้นแบบจำลองความเป็นจริงเสริมจะถูกนำมาซ้อนทับลงบนวิดีโอของสภาพงานจริงซึ่งได้จากการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการสำรวจโครงการ จากการทดสอบระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถวิเคราะห์ความคืบหน้าของงานก่อสร้างโดยการเปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและสภาพงานจริง ระบบจะทำการสร้างภาพเสมือนของโครงสร้างงานทางยกระดับและแสดงความก้าวหน้าซ้อนทับบนโครงสร้างจริงเพื่อแสดงความก้าวหน้าหรือล่าช้าจากแผนงาน สำหรับการวิจัยในอนาคตการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์อาจนำมาใช้ร่วมกับการศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์ความคืบหน้าของการก่อสร้างโดยอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6070335421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: Infrastructure, Progress Tracking, Augmented Reality, BIM

Sittinut Srinoi : AN APPLICATION OF AUGMENTED REALITY FOR PROGRESS TRACKING IN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION: A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT . Advisor: Assoc. Prof. TANIT TONGTHONG, Ph.D.

This study aimed at a development of a new approach to improve progress tracking tools in infrastructure construction. Instead of dealing with a conventional paper-based documents that are not convenient to compare with the actual work conditions, this study presented a system that generated an Augmented Reality (AR) model combining information of work plans from Microsoft Project together with the 3D model from Building Information Modeling (BIM). The AR model represented the state of the project according to the day by day work plan. Then, it was superimposed on the video of the actual work conditions of the infrastructure project that was collected by using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). From applying this approach to a case study of elevated highway construction project, the result improved the tracking processes by comparing the similarities or differences between images of Augmented Reality of the work plan and the actual work conditions. These differences can be used to interpret the progress of the construction project. From this study, progress of the project was divided according to the structural parts of construction. Therefore, in the event that structural parts were being constructed behind the schedule, this approach will show the images of those structural parts to identify that elements should have finished. For future study, an application of Image Artificial Intelligence (Image AI) technology can be applied to this study to automatically detect the progress of the construction.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Civil Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2019 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านที่ให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำ และข้อคิดอันเป็นประโยชน์ในการทำงาน รวมไปถึงความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่ายที่ต้องขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและขอขอบพระคุณในการสละเวลาอันมีค่ารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ทั้งกรุณาให้คำชี้แนะและตรวจพิจารณาแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) รองศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่สละเวลาอันมีค่าช่วยตรวจสอบและให้ข้อชี้แนะอันเป็นประโยชน์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้มอบความรู้และข้อมูลมาเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการดำเนินงานวิจัย รวมถึงพี่และเพื่อนๆ วิศวกรรมโยธาสาขาบริหารการก่อสร้างที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านและเป็นกำลังใจที่สำคัญเป็นอย่างมากในระหว่างการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ คุณประโยชน์และคุณความดีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ส่วนข้อบกพร่องทั้งหมดผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิทธิณัฐ ศรีน้อย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 การตรวจสอบและติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง 8

2.1.1 การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการติดตามความคืบหน้าของการก่อสร้าง 8

2.1.2 การติดตามความคืบหน้าในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง 12

2.2 Building Information Modeling (BIM) 14

2.2.1 BIM กับโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง 15

2.3 Augmented Reality (AR) 17

2.3.1 เทคโนโลยี Augmented Reality ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง 18

2.3.2 เทคนิคการใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อการจัดการการก่อสร้าง 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.2.1 รูปแบบการวางซ้อน 21
2.3.2.2 เทคนิคการกรองข้อมูลในการนำเสนอ 22
2.4 อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) 23
2.4.1 ลักษณะของโดรนที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและการปฏิบัติการ 24
2.4.2 โดรนในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง 25
2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 28
3.1 ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics) 28
3.2 การออกแบบงานวิจัย (Research Design) 28
3.3 วิธีการทำงานวิจัย (Research Method) 30
3.3.1 ศึกษาปัญหาและความสำคัญของปัญหา 30
3.3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 30
3.3.3 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตสำหรับงานวิจัย 30
3.3.4 ออกแบบและเสนอกรอบแนวคิด 30
3.3.5 พัฒนาแอปพลิเคชันช่วยเหลือในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้า 31
3.3.6 พิสูจน์แนวคิดในงานวิจัย 31
3.3.7 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแอปพลิเคชัน 31
3.3.8 ปรับและแก้ไขแอปพลิเคชัน 31
3.3.9 ทดสอบแนวคิดกับกรณีศึกษา 32
3.3.10 วิเคราะห์และสรุปผล 32
บทที่ 4 ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย 33
4.1 แนวทางการพัฒนาระบบ 33
4.1.1 งานก่อสร้างจำลองในห้องปฏิบัติการ 33
4.1.2 ข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 การประยุกต์ใช้ข้อมูลและเทคโนโลยี 37
4.1.4 การพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ 41
4.1.4.1 การนำเข้าข้อมูล 42
4.1.4.2 การผสานข้อมูล 43
4.1.4.3 การปรับข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในระบบ 45
4.2 การพิสูจน์กรอบแนวคิดในการใช้งานระบบ 53
4.2.1 การแสดงผล 54
4.2.2 การประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามความคืบหน้า 58
4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาระบบ 60
4.3.1 รูปแบบของโครงสร้างและแผนงานก่อสร้างของโครงการ 60
4.3.2 หน่วยความยาว 60
4.3.3 ความเร็วและเส้นทางการสำรวจโครงการ 60
4.4 สรุประบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย 61
4.4.1 การเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง 61
4.4.2 การสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน 61
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย 63
5.1 ลักษณะของโครงการในกรณีศึกษา 63
5.2 ขั้นตอนการประยุกต์ระบบการติดตามความคืบหน้ากับกรณีศึกษา 64
5.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาระบบ 65
5.2.2 การเปรียบเทียบระยะและหน่วยความยาว 68
5.2.3 การเคลื่อนที่และเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลอง 69
5.3 ผลการประยุกต์ใช้ 72
5.3.1 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 72
5.3.2 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3.3 การวิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้ 74
5.4 การติดตามความคืบหน้าในโครงการกรณีศึกษา 76
5.5 สรุปผลการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย 78
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 80
6.1 สรุปการวิจัย 80
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 81
6.3 ผลการทำงานวิจัย 82
6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต 82
บรรณานุกรม 83
ภาคผนวก 88
ประวัติผู้เขียน 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของเครื่องมือ BIM สำหรับการจัดการงานก่อสร้าง, ดัดแปลงจาก (Zaher et al., 2018) 15

ตารางที่ 2.2 UAV สำหรับงานก่อสร้างและการควบคุมงานก่อสร้าง (ดัดแปลง (Ham et al., 2016) 26

ตารางที่ 4.1 มาตราหน่วยเทียบสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันในงานวิจัย 46

ตารางที่ 4.2 การปรับค่าในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำไปใช้ในระบบการติดตามงานก่อสร้างจำลองในห้องปฏิบัติการ 48

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลวันที่เสร็จงานในงานก่อสร้างเสา A 55

ตารางที่ 4.4 สรุปการแสดงชิ้นโครงสร้างแบบจำลองเสา A ตามวันสำรวจ 56

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ 59

ตารางที่ 5.1 มาตราหน่วยเทียบสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบเพื่อใช้กับโครงการกรณีศึกษา 69

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการในกรณีศึกษา 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1(ก)รายงานผลการดำเนินงานรายวัน (ข)แบบแสดงรายละเอียดงานก่อสร้าง (ค)แผนการก่อสร้าง (Golparvar-Fard, Pena-Mora, & Savarese, 2009)..... 2

รูปที่ 1.2 ภาพจากการใช้กล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับในการสำรวจโครงการ..... 3

รูปที่ 1.3 การแสดงแบบจำลอง 4 มิติตามแผนการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย (ก)แบบจำลองสามมิติ และ (ข)แผนการทำงาน..... 4

รูปที่ 1.4 การใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อระบุพื้นที่ในการเพิ่มโครงสร้างเหล็กในงานก่อสร้าง (Shanbari et al., 2016)..... 5

รูปที่ 2.1 รูปแสดงแผนผังของหุ่นยนต์ในงานวิจัย, ดัดแปลงจาก(Navon, 2000)..... 9

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจจับภาพโดยใช้รูปแบบHaar (Lukins & Trucco, 2007)..... 9

รูปที่ 2.3 การใช้รหัสสีเพื่อแสดงถึงความคืบหน้าของงาน (Golparvar-Fard et al., 2009)..... 10

รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของระบบที่ใช้การจดจำวัสดุเพื่อช่วยในการสร้างโมเดล (Dimitrov & Golparvar-Fard, 2014)..... 11

รูปที่ 2.5 การพัฒนาระบบติดตามความคืบหน้าแบบอัตโนมัติ (Behnam et al., 2016)..... 12

รูปที่ 2.6 วิธีการ OBIA สำหรับการตรวจจับงานฐานราก (Behnam et al., 2016)..... 13

รูปที่ 2.7 หน้าที่หลักของระบบ 4D-based AR (Kim et al., 2018)..... 13

รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการใช้งานระบบ 4D-based AR ในงานวิจัย (Kim et al., 2018)..... 14

รูปที่ 2.9 อินเทอร์เฟซการจำลอง 5 มิติ โดยใช้โปรแกรม Autodesk Navisworks 2014 ซึ่งประกอบด้วย (ก)แถบเครื่องมือในโปรแกรม (ข)ข้อมูลต้นทุนโครงการ (ค)แบบจำลองสามมิติโครงการ และ (ง)แผนการทำงานโครงการ (Lu et al., 2016)..... 16

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างในการใช้ AR เพื่อแสดงแบบจำลองเสมือนบนโลกจริง (Wang, Truijens, Hou, Wang, & Zhou, 2014)..... 17

รูปที่ 2.11 รูปแบบการทำงานของเครื่องแสดงผล AR ที่สวมบนศีรษะ, ดัดแปลงจาก (Azuma, 1997)..... 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของงานกับระบบ AR และคุณสมบัติการใช้ AR, ดัดแปลงจาก (Shin & Dunston, 2008) 19

รูปที่ 2.13 เทคโนโลยีที่เป็นไปได้สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชั่น AR (Chi et al., 2013) 20

รูปที่ 2.14 ระบบ Mobile AR สำหรับการตรวจสอบและจัดทำเอกสารสถานในงานก่อสร้าง (Zollmann et al., 2014) 20

รูปที่ 2.15 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับโดยตรง (Zollmann et al., 2014) 21

รูปที่ 2.16 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับผสาน (Zollmann et al., 2014) 21

รูปที่ 2.17 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับภายใน (Zollmann et al., 2014) 22

รูปที่ 2.18 การสร้างภาพข้อมูลแบบคู่ขนานโดยใช้ตัวเลื่อน 2 มิติ โดยอินพุตเมาส์จะกำหนดเส้นขอบระหว่างภาพวิดีโอและเนื้อหาเสมือน (Zollmann et al., 2014) 22

รูปที่ 2.19 การใช้เทคโนลยี AR ด้วยเทคนิคเลนส์วิเศษสองมิติ (Zollmann et al., 2014) 22

รูปที่ 2.20 เทคนิคตัวเลื่อนสามมิติโดยขอบระหว่างข้อมูลจะเป็นแนวเส้นที่มีความสูงสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติ (Zollmann et al., 2014) 23

รูปที่ 2.21 การใช้เทคโนลยี AR ด้วยเทคนิคเลนส์วิเศษสามมิติ (Zollmann et al., 2014) 23

รูปที่ 2.22 กราฟแสดงมูลค่าตลาดที่เป็นไปได้ของการใช้งานโดรนเชิงพาณิชย์, ดัดแปลงจาก (Otto et al., 2018) 24

รูปที่ 2.23 ลักษณะของโดรนที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนปฏิบัติการ (Otto et al., 2018) 25

รูปที่ 3.1 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 29

รูปที่ 4.1 โครงสร้างเสาตอม่อของโครงการในห้องปฏิบัติการ 34

รูปที่ 4.2 ลักษณะของการก่อสร้างโครงการในห้องปฏิบัติการ 34

รูปที่ 4.3 แบบจำลองสามมิติของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ 35

รูปที่ 4.4 แผนงานก่อสร้างโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ 36

รูปที่ 4.5 ภาพจากมุมมองการสำรวจโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ 37

รูปที่ 4.6 การจำลองการสำรวจโครงการเสมือนการใช้งานโดรน 37

รูปที่ 4.7 ข้อมูลแผนงานที่เพิ่มขึ้นในงานวิจัย 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.8 หลักการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างตามวันที่ต้องการตรวจสอบ..... 39
รูปที่ 4.9 ภาพประกอบการอธิบายหลักการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างในงานวิจัย..... 39
รูปที่ 4.10 การทดสอบการใช้คิวอาร์โค้ดสำหรับแสดงแบบจำลองสามมิติในงานวิจัย..... 40
รูปที่ 4.11 การวางคิวอาร์โค้ดลงบนวิดีโอการสำรวจโครงการในห้องปฏิบัติการ..... 41
รูปที่ 4.12 การใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ในระบบ..... 42
รูปที่ 4.13 แบบจำลองสามมิติภายใน (ก) Autodesk Revit (ข) รูปแบบวัตถุจำลองสามมิติ FBX ... 43
รูปที่ 4.14 ข้อมูลแผนงานในรูปแบบ (ก) Microsoft Project (ข) Microsoft Excel..... 43
รูปที่ 4.15 ชื่อโครงสร้างของแบบจำลองสามมิติซึ่งมีการแนบรหัสประโครงสร้าง 44
รูปที่ 4.16 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการดึงข้อมูลรหัสประจำโครงสร้าง..... 44
รูปที่ 4.17ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการแสดงสภาพงานก่อสร้างตามแผนงาน 45
รูปที่ 4.18 ค่าสำคัญในโปรแกรม Unity ที่ต้องปรับสำหรับการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน 46
รูปที่ 4.19 ค่าสำคัญทีต้องบันทึกก่อนเริ่มบันทึกวิดีโอการจำลองการสำรวจโครงการ..... 47
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบขนาดคิวอาร์โค้ดเพื่อนำไปปรับค่าสำคัญในแอปพลิเคชัน 47
รูปที่ 4.21 การปรับค่าขนาด มุม และตำแหน่งของคิวอาร์โค้ดในโปรแกรม Unity..... 48
รูปที่ 4.22 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในแอปพลิเคชันเพื่อให้สอดคล้องกับวิดีโอ 49
รูปที่ 4.23 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในงานวิจัย..... 50
รูปที่ 4.24 หน้าจอแอปพลิเคชันประยุกต์ในขั้นของการพัฒนา 50
รูปที่ 4.25 รูปแบบการแสดงข้อมูลโครงสร้างจากการดึงข้อมูลแผนงาน..... 51
รูปที่ 4.26 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการดึงข้อมูลแผนงานเพื่อแสดงในแอปพลิเคชัน..... 51
รูปที่ 4.27 แผนภาพสรุปขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน..... 52
รูปที่ 4.28 การพิสูจน์กรอบแนวคิดการใช้งานระบบ..... 53
รูปที่ 4.29 หน้าจอการเปิดใช้งานแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน..... 53
รูปที่ 4.30 การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมภายในแอปพลิเคชันในช่วงแรกของวิดีโอ 54
รูปที่ 4.31 การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมภายในแอปพลิเคชันในช่วงท้ายของวิดีโอ 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.32 แผนงานก่อสร้างเสา A ของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ 55
รูปที่ 4.33 การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการสำรวจ วันที่10(ซ้าย) วันที่20(ขวา) 56
รูปที่ 4.34 การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการสำรวจ วันที่40(ซ้าย) วันที่60(กลาง) วันที่80(ขวา) 56
รูปที่ 4.35 ข้อมูลแผนงานก่อสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างเสา A โดยเฉพาะส่วน 57
รูปที่ 4.36 ตัวอย่างการดึงข้อมูลแผนงานในการใช้งานแอปพลิเคชัน (1) 57
รูปที่ 4.37 ตัวอย่างการดึงข้อมูลแผนงานในการใช้งานแอปพลิเคชัน (2) 58
รูปที่ 4.38 แผนภาพการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย 62
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างวิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 1 (ทางตรง) 63
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างวิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 2 (ทางโค้ง) 63
รูปที่ 5.3 แบบจำลองสามมิติของโครงการในกรณีศึกษา 65
รูปที่ 5.4 แบบจำลองสามมิติซึ่งเป็นรูปแบบวัตถุจำลองสามมิติ (ก) กรณีศึกษาที่ 1 (ข) กรณีศึกษาที่ 2 65
รูปที่ 5.5 แผนงานก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา 66
รูปที่ 5.6 วิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 1 โดยมีคิวอาร์โค้ดประกอบ 67
รูปที่ 5.7 วิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 2 โดยมีคิวอาร์โค้ดประกอบ 67
รูปที่ 5.8 การวัดระยะเพื่อเปรียบเทียบค่าสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบ กรณีศึกษาที่ 1 68
รูปที่ 5.9 การวัดระยะเพื่อเปรียบเทียบค่าสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบ กรณีศึกษาที่ 2 68
รูปที่ 5.10 การเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ... 69
รูปที่ 5.11 ตัวอย่างวิธีการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติของโครงการซึ่งมีทางโค้งประกอบ 70
รูปที่ 5.12 การเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติในกรณีศึกษาที่ 2 71
รูปที่ 5.13 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 2 ในระยะที่ 1 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ 71
รูปที่ 5.14 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 2 ในระยะที่ 2 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ 71

รูปที่ 5.15 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 3 ในระยะที่ 3 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ 72

รูปที่ 5.16 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงต้นของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1 72

รูปที่ 5.17 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงท้ายของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1 73

รูปที่ 5.18 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงต้นของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2 73

รูปที่ 5.19 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงท้ายของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2 74

รูปที่ 5.20 ผลการแสดงซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1 74

รูปที่ 5.21 ผลการแสดงซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2 75

รูปที่ 5.22 แบบจำลองความเป็นจริงเสริมเกิดความคลาดเคลื่อนในการซ้อนทับ 75

รูปที่ 5.23 การเพิ่มจุดหมุนในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในโครงการซึ่งมีเส้นทางโค้งประกอบ 76

รูปที่ 5.24 แผนภาพแสดงการประยุกต์ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ 79

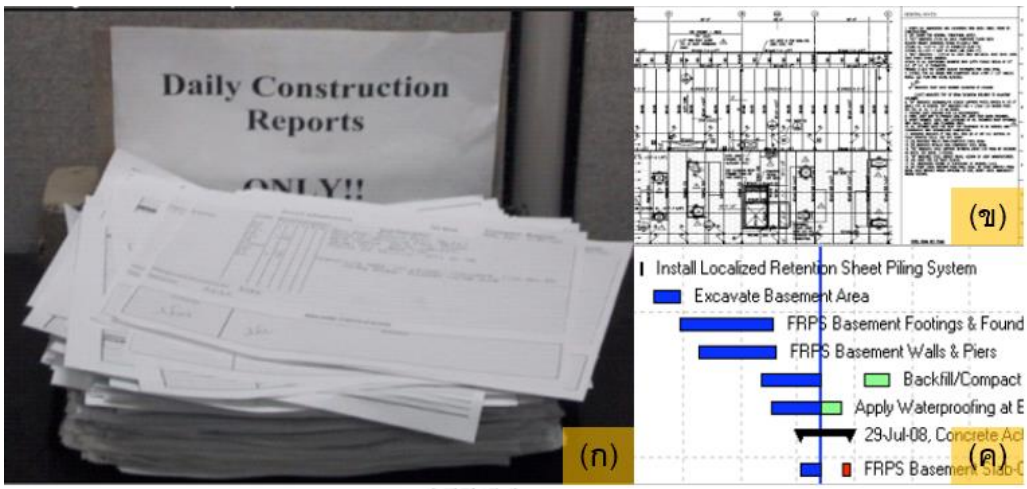
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

โครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง อาทิเช่น โครงการก่อสร้างทางหลวงและถนน โครงการก่อสร้างทางยกระดับ การก่อสร้างทางรถไฟ การก่อสร้างสะพาน เป็นงานทางวิศวกรรมที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อรองรับความต้องการด้านการคมนาคมจากประชากรซึ่งมีจำนวนมากและเพิ่มขึ้นตลอดเวลา (Costin, Adibfar, Hu, & Chen, 2018) การคมนาคมที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพช่วยให้เกิดการพัฒนาทางเศษฐกิจและทางสังคม ถือได้ว่าโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งถือเป็นโครงการที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของประเทศ เนื่องด้วยเป็นโครงการที่มีความสำคัญและมีขนาดโครงการขนาดใหญ่ ระหว่างการก่อสร้างจึงมีการใช้เวลาและทรัพยากรจำนวนมหาศาล (Ham, Han, Lin, & Golparvar-Fard, 2016) ทำให้งานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งจำเป็นต้องการ การบริหารจัดการการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพและแสดงผลประจักษ์ของการทำงานได้อย่างชัดเจนเพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายรวมถึงทรัพยากรต่างๆภายในโครงการ ซึ่งหนึ่งในกุญแจสำคัญของการบริหารจัดการการก่อสร้างก็คือ การติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงการ (Turkan, Bosche, Haas, & Haas, 2012) การติดตามความคืบหน้าเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างมากสำหรับการบริหารและจัดการการก่อสร้างให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องการการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับการดำเนินงานรวมถึงผลการดำเนินงานของโครงการ และนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับแผนงานที่วางไว้เพื่อเป็นข้อมูลย้อนกลับใช้สำหรับการกำกับ ทบทวนและแก้ปัญหาขณะดำเนินการก่อสร้าง โดยการติดตามและรายงานความคืบหน้าของการก่อสร้างสามารถทำได้หลายแนวทาง วัตถุประสงค์เพื่อให้ทีมบริหารทราบถึงสถานการณ์ในการดำเนินโครงการอยู่ในแนวทางที่กำหนดไว้และมีผลการดำเนินงานเป็นไปตามแผนการทำงาน โดยอาจมีการรายงานความก้าวหน้าและอุปสรรคในระหว่างการดำเนินงานประกอบด้วย (T. Omar & Nehdi, 2018)

การเก็บข้อมูลความคืบหน้าในการก่อสร้างนั้นมีหลักการสำคัญคือ การเปรียบเทียบสภาพงานที่ปฏิบัติได้จริงกับสภาพงานตามที่กำหนดในแผนงาน วิธีปฏิบัติโดยทั่วไปสำหรับการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้าง ขึ้นอยู่กับการรวบรวมข้อมูลจากรายงานผลการดำเนินงานในรูปแบบรายวันหรือรายสัปดาห์ โดยข้อมูลดังกล่าววิศวกรภาคสนามหรือวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อสร้างจะได้รับแผนงานและแบบแสดงรายละเอียดในงานก่อสร้าง (Construction Site Drawing) เพื่อทำการเปรียบเทียบความคืบหน้าของงานในส่วนที่รับผิดชอบ รวมถึงรายงานข้อมูลเพิ่มเติมประกอบผลการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น สภาพอากาศในการทำงาน ปัญหาเฉพาะหน้าที่เกิดขึ้น (Marzouk & Zaher, 2015)



รูปที่ 1.1(ก)รายงานผลการดำเนินงานรายวัน (ข)แบบแสดงรายละเอียดงานก่อสร้าง (ค)แผนการก่อสร้าง (Golparvar-Fard, Pena-Mora, & Savarese, 2009)

ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการนำเสนอความคืบหน้าของการก่อสร้างจะทำการรวบรวมข้อมูลจากการรายงานผลการดำเนินงาน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการและรายงานข้อมูลต่อผู้บริหารจัดการโครงการ โดยข้อมูลดังกล่าวมักถูกเสนอในรูปแบบของแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) หรือตารางแสดงตัวเลขความคืบหน้าและค่าใช้จ่ายของโครงการ ซึ่งอาจมีการแนบข้อมูลรูปถ่ายบางส่วนของโครงการประกอบด้วย (Golparvar-Fard et al., 2009) จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าข้อมูลความคืบหน้าที่ถูกรายงานต่อผู้บริหารโครงการนั้นด้วยรูปแบบดังกล่าว ไม่สามารถแสดงความแตกต่างระหว่างผลการดำเนินงานที่ทำได้จริงกับแผนการทำงานได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ผู้บริหารจัดการโครงการไม่สามารถทราบถึงความคืบหน้าในภาพรวมของโครงการ และยากต่อการใช้ข้อมูลดังกล่าวประกอบการตัดสินใจต่างๆในระหว่างการก่อสร้างโครงการ

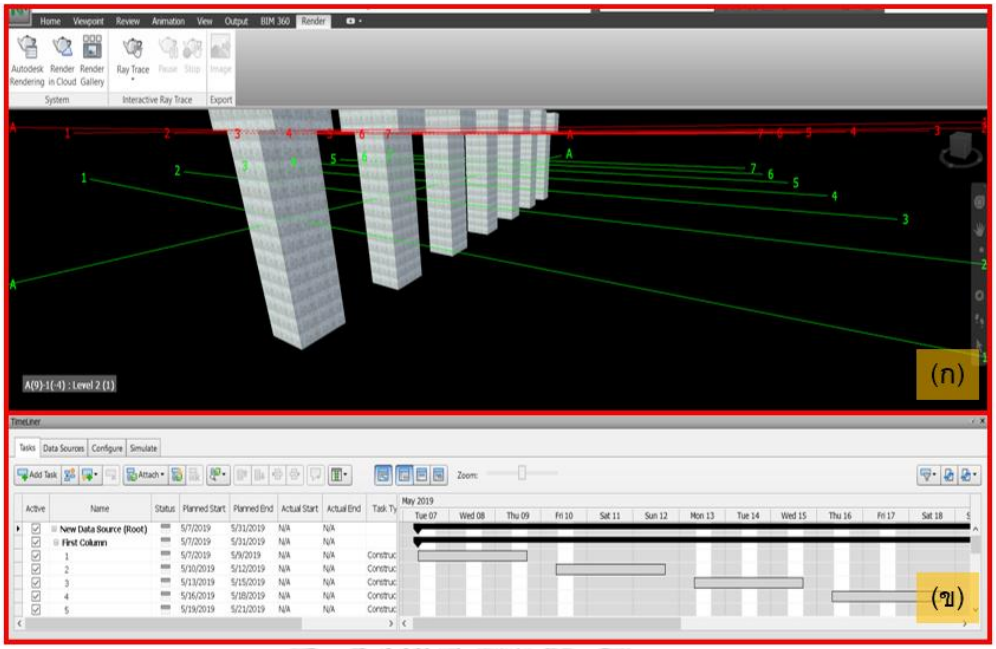
การแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประกอบการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง งานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งมีลักษณะของโครงการเป็นเส้นทางยาวซึ่งมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) เพื่อตรวจสอบความคืบหน้าและภาพรวมของโครงการการก่อสร้าง โดยอากาศยานไร้คนขับจะทำการเก็บภาพถ่ายและวิดีโอในขณะทำการก่อสร้าง และนำภาพหรือวิดีโอดังกล่าวเปรียบเทียบกับแผนงานการก่อสร้าง เพื่อวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการ (Ham et al., 2016) อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งมีขั้นตอนและกิจกรรมในการก่อสร้างจำนวนมาก นอกจากนี้ลักษณะของโครงสร้างที่มีการก่อสร้างในแต่ละช่วงของโครงการที่เหมือนและคล้ายกัน

การใช้ผลลัพธ์จากกล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับซึ่งเป็นภาพถ่ายหรือวิดีโอการสำรวจโครงการ นั้นยากต่อการนำไปเปรียบเทียบกับเอกสารแผนการทำงานเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการ

รูปที่ 1.2 ภาพจากการใช้กล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับในการสำรวจโครงการ

งานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอแนวทางการประยุกต์การใช้งาน อากาศยานไร้คนขับร่วมกับเทคโนโลยีแบบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling) โดยการศึกษาวิจัยพบว่าเทคโนโลยี BIM ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในด้านต่างๆมากมาย อาทิเช่น การออกแบบโครงการ การวิเคราะห์โครงการก่อสร้าง การดูแลและตรวจสอบโครงการ (Bradley, Li, Lark, & Dunn, 2016) สำหรับการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง BIM ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองข้อมูล 4 มิติ ซึ่งเกิดจากการรวมข้อมูลของเวลาของแผนการทำงานและแบบจำลองสามมิติ เพื่อทำการประมวลผลและแสดงสภาพของโครงการตามแผนงานตามวันเวลาต่างๆของโครงการได้ (Kim, Kim, Borrmann, & Kang, 2018) ดังนั้นงานวิจัยต้องการใช้แบบจำลองข้อมูล 4 มิติแสดงสภาพของโครงการตามแผนงานมาแสดงซ้อนทับบนสภาพจริงของโครงการที่ได้จากการใช้กล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับ โดยงานวิจัยเสนอวิธีการซ้อนทับระหว่างข้อมูลแบบจำลอง 4 มิติและสภาพจริงของโครงการผ่านการใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1.3 การแสดงแบบจำลอง 4 มิติตามแผนการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย (ก)แบบจำลองสามมิติ และ (ข)แผนการทำงาน

เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม หรือ Augmented Reality (AR) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำข้อมูลทางดิจิทัลที่ถูกสร้างด้วยคอมพิวเตอร์มาแสดงเป็นภาพเสมือนบนโลกความจริงผ่านมุมมองของผู้ใช้งาน (Wang, Wang, Xu, & Shou, 2014) ในปัจจุบันเทคโนโลยี Augmented Reality ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากในหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมทางการแพทย์ซึ่งใช้เทคโนโลยี AR เพื่อแสดงอวัยวะภายในของร่างกายระหว่างการผ่าตัด อุตสาหกรรมสื่อและโฆษณาซึ่งใช้เทคโนโลยี AR เพื่อแสดงสินค้าในรูปแบบของแบบจำลอง 3 มิติที่มีขนาดและสัดส่วนเท่าของจริง เป็นต้น โดยในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเทคโนโลยี AR มักถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติของโครงการบนรายละเอียดงานก่อสร้าง (Construction Site Drawing) เพื่อเพิ่มความเข้าใจในแบบรายละเอียดงานก่อสร้าง นอกจากนี้ AR สามารถใช้เพื่อแสดงโครงสร้างภายในอาคารที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า (Shanbari, Blinn, & Issa, 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.4 การใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อระบุพื้นที่ในการเพิ่มโครงสร้างเหล็กในงานก่อสร้าง (Shanbari et al., 2016)

งานวิจัยนี้จึงต้องการเสนอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) และ Augmented Reality (AR) เพื่อสร้างระบบการติดตามความคืบหน้าโดยมีหลักการคือการใช้ BIM แบบจำลองสามมิติประกอบกับแผนการทำงานเพื่อสร้างข้อมูล 4 มิติ และใช้เทคโนโลยี AR นำข้อมูลแบบจำลอง 4 มิติมาแสดงซ้อนทับบนวิดีโอการสำรวจโครงการจากการใช้กล้องติดตั้งอากาศยานไร้คนขับ เพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างแผนงานและผลการดำเนินงานอย่างชัดเจนและใช้ผลดังกล่าววิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง (โครงการก่อสร้างทางยกระดับ)โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Augmented Reality ที่สร้างจากข้อมูล Building Information Modeling และแผนงานมาแสดงซ้อนบนวิดีโอที่ได้จากการสำรวจโครงการด้วยการใช้อากาศยานไร้คนขับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์แผนการก่อสร้างโดยการใช้ BIM และการสำรวจติดตามความคืบหน้าของโครงการในงานด้านโครงสร้าง

1.3.2 การวิจัยพัฒนาระบบสำหรับโครงการโครงสร้างพื้นฐานโดยกรณีศึกษาเป็นโครงการก่อสร้างทางยกระดับ

1.3.3 รายละเอียดของงานก่อสร้างในงานวิจัยจะแสดงเฉพาะงานโครงสร้างที่สามารถเห็นและสำรวจได้ภายนอกเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิจัย สมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่รองรับโปรแกรมประยุกต์ระบบปฏิบัติการแอนดรอย ที่ประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของระบบดังนี้

1) ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกผ่านดาวเทียม (GPS)
2) ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless)
3) ตัวรับสัญญาณกล้องถ่ายภาพ (Camera Sensor)

1.3.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่

1) Unity รุ่น 2018.3.0f2
2) Revit รุ่น 2019
3) Microsoft Project 2019
4) Microsoft Visual Studio 2017
5) Vuforia Engine

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าของโครงการการก่อสร้างโดยเฉพาะในการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี Augmented Reality (AR) และเทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในการบริหารจัดการการก่อสร้าง

1.4.2 วิเคราะห์ข้อดีข้อเสียในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆที่พบจากการศึกษางานวิจัยในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าการก่อสร้าง และวิเคราะห์วิธีการในการประยุกต์เทคโนโลยี BIM และ AR ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างตั้งอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อหาวิธีการนำมาใช้เพื่อพัฒนาการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งอย่างเหมาะสม

1.4.3 ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน (Application) ที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี BIM และ AR ประกอบร่วม โดยแอปพลิเคชันจะทำงานร่วมกับการใช้วิดีโอจากโดรนเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง

1.4.4 สรุปขั้นตอนในการนำกระบวนการการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างโครงการทางยกระดับ

1.4.5 ทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันในงานวิจัย ร่วมกับวิดีโอที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับกับงานก่อสร้างในกรณีศึกษา เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ถึงการนำไปใช้ในการติดตามความคืบหน้าของโครงการระหว่างการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4.5 สรุปผลการวิจัย รวมถึงข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้แนวทางใหม่สำหรับการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าของโครงการในงานวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาพัฒนางานวิจัยในขั้นต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 แนวทางใหม่สำหรับเป็นทางเลือกในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าของการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการทั่วไปในการติดตามความคืบหน้าของโครงการ

1.5.2 ทราบถึงเทคนิคหรือวิธีการในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Augmented Reality (AR) และ Building Information Modeling (BIM) ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างโดยเฉพาะในด้านของการบริหารจัดการการก่อสร้าง รวมถึงข้อจำกัดในปัจจุบันของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว

1.5.3 ทราบถึงศักยภาพและความเป็นไปได้ในการพัฒนาแนวทางหรือแนวคิดใหม่ในการติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจสอบและติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling) เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality) อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) และสรุปผลการศึกษา

2.1 การตรวจสอบและติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง

The New York State Office for Technology (NYSOT) สรุปไว้ว่าคุณลักษณะของการตรวจวัดความคืบหน้าของงานที่ดีประกอบไปด้วย ความสามารถในการวัด ความน่าเชื่อถือ สามารถเข้าใจได้ ตรวจสอบได้ ไม่ใช้เวลามากเกินไป ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ คุ้มค่าใช้จ่าย และสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในโครงการได้ (T. Omar & Nehdi, 2016)

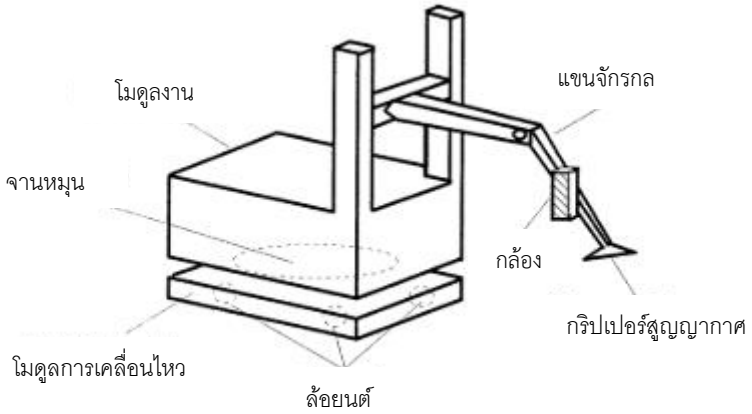
สำหรับการบริหารจัดการการก่อสร้าง การติดตามความคืบหน้าของงานที่ดีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมบริหารจัดการทรัพยากรรวมถึงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างให้ตรงตามแผนงานที่วางไว้ สามารถสนับสนุนการทำงานให้เกิดความสำเร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการตรวจสอบค้นหาแหล่งที่มาของข้อบกพร่องหรือความล่าช้าจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ กล่าวคือการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าของงานคือ หัวข้อที่สำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการบริหารจัดการก่อสร้าง (Zollmann et al., 2014) นอกจากนี้วิธีการติดตามความคืบหน้าแบบดั้งเดิมนั้น ใช้แรงงานคนจำนวนมากเพื่อจดบันทึก ซึ่งส่งผลให้มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่ายและใช้เวลามาก วิธีการดังกล่าวจึงได้ถูกระบุว่าเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ทำให้โครงการมีความคืบหน้าช้ากว่าแผนการทำงานและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ตั้งแต่อดีตจนมาถึงปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนการประยุกต์เทคโนโลยีต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามความคืบหน้าของการก่อสร้าง (H. Omar, Mahdjoubi, & Kheder, 2018)

2.1.1 การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการติดตามความคืบหน้าของการก่อสร้าง

1) เทคโนโลยีเดี่ยว (Standalone technology)

เทคโนโลยีรูปแบบเดี่ยวเป็นการนำเทคโนโลยีเพียงรูปแบบเดียวมาประยุกต์ใช้ Navon (2000) พยายามพัฒนาหุ่นยนต์ที่นอกจากสามารถทำการปูกระเบื้องได้แล้วยังมีการติดตั้งกล้องที่หุ่นเพื่อให้มีการบันทึกภาพความคืบหน้าประกอบไปด้วย แต่ประสบปัญหาเรื่องความไม่แน่นอนของ

ระบบในการบันทึกภาพที่ต้องมีการแก้ไขเกือบตลอดเวลา ประกอบกับความสว่างของรูปที่ไม่เพียงพอให้สามารถนำมาใช้ในการติดตามความคืบหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.1 รูปแสดงแผนผังของหุ่นยนต์ในงานวิจัย, ดัดแปลงจาก(Navon, 2000)

ปี ค.ศ. 2004 Dick และทีม พัฒนาระบบอัตโนมัติที่มีกระบวนการสามารถจดจำรูปแบบโครงสร้างของวัตถุเพื่อสร้างโมเดลจำลอง 3 มิติของสภาพสถานที่งานด้วยการนำภาพที่บันทึกไว้มาใช้ในระบบ หลังจากนั้นนำโมเดลที่ได้มาเปรียบเทียบโมเดลของแผนงาน แต่ทว่าโครงสร้างที่ได้มีความแม่นยำในแนวตั้ง 83% และแนวนอน 91% เท่านั้น (Dick, Torr, & Cipolla, 2004)

Lukins และ Trucco (2007) นำเทคโนโลยี Computer Vision(CV) มาพัฒนาให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของหน้างานในระหว่างการก่อสร้างได้ และนำไปติดตั้งในสถานที่ทำงานเพื่อตรวจความคืบหน้าในการทำงาน แต่ด้วยข้อจำกัดในการใช้งานที่มีจำนวนมาก อาทิเช่น สภาพอากาศ ความชัดเจน และความผันผวนความสว่างของแสง ทำให้ยังคงเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งานและต้องใช้เวลามากในการแก้ไข (Lukins & Trucco, 2007)

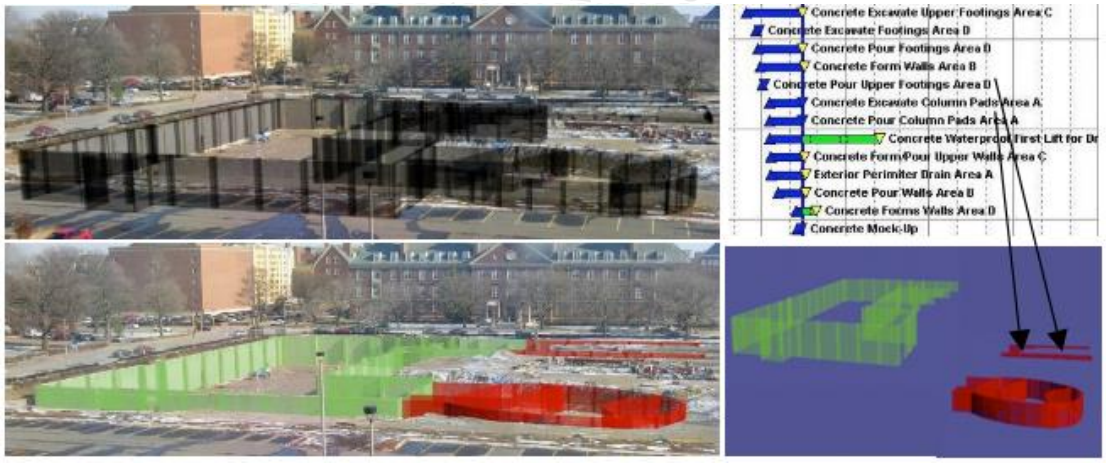
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจจับภาพโดยใช้รูปแบบHaar (Lukins & Trucco, 2007)

และในปี ค.ศ. 2010 Bosché ได้นำระบบวิธี Point Matching ซึ่งทำงานผ่านเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีเลเซอร์สแกนนิ่ง (Laser Scanning) เพื่อสร้างโมเดลจำลอง 3 มิติของสภาพงานจริง และนำมาเปรียบเทียบการแบบจำลองที่ออกแบบเป็นข้อมูลทางดิจิตัล (Computer-Aided Design) แต่ทว่าเทคโนโลยีเลเซอร์สแกนนิ่ง ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ (Bosché, 2010) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และต้องใช้เวลาในการประมวลผลรวมถึงต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเป็นอย่างมากสำหรับการดำเนินงาน จากการวิเคราะห์การใช้งานเทคโนโลยีเดี่ยวในการติดตามความคืบหน้าของงานที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่ายังคงมีปัญหาในระหว่างการทำงาน ต่อมาจึงมีการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีเพิ่มเพื่อแก้ปัญหาที่การใช้เทคโนโลยีชนิดเดียวไม่สามารถแก้ไขได้

2) การประสานเทคโนโลยี (Integrated technologies)

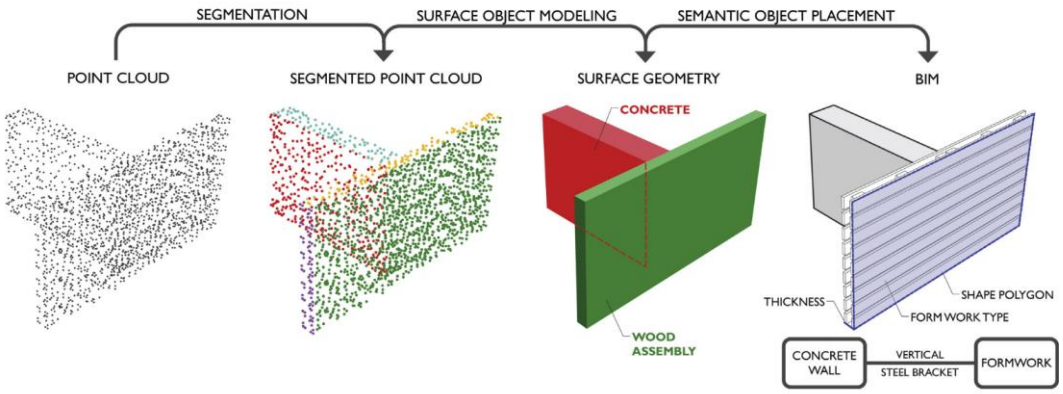
การประสานเทคโนโลยีจะทำการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสองชนิดหรือสองชนิดขึ้นไปเพื่อแก้ปัญหา โดยในปี ค.ศ. 2009 Golparvar-Fard และทีมร่วมกันพัฒนาวิธีการบริหารจัดการก่อสร้างโดยการใช้เทคโนโลยีรังวัดภาพและเทคนิคการถ่ายภาพแบบ Time-lapse เพื่อสร้างแบบจำลอง Point Cloud 3มิติของสภาพงานจริง และนำแบบจำลองดังกล่าวมาซ้อนทับกับภาพถ่ายงานจริงด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ประกอบกับการนำเทคนิคการใช้รหัสสีใส่ในแบบจำลองเพื่อรายงานความคืบหน้า อาทิเช่น บริเวณสีแดงในแบบจำลองหมายถึงบริเวณที่มีการทำงานล่าช้ากว่าแบบแผนเป็นต้น (Golparvar-Fard et al., 2009)



รูปที่ 2.3 การใช้รหัสสีเพื่อแสดงถึงความคืบหน้าของงาน (Golparvar-Fard et al., 2009)

ปี ค.ศ. 2009 Ibrahim และทีมพัฒนาเทคโนโลยี Computer Vision ร่วมกับการใช้เทคโนโลยี BIM เพื่อให้ระบบสามารถติดตามความคืบหน้าจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเรขาคณิตของส่วนประกอบในแบบจำลอง BIM และเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่สอดคล้องกับภาพถ่ายจากหน้างาน ระบบสามารถเปรียบเทียบและช่วยระบุสถานะความคืบหน้าของสถานที่ก่อสร้างได้ซึ่งใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างการแยกงาน (WBS) แต่ระบบยังคงได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดหลายประการ เช่น การขาดรายละเอียดที่เพียงพอขององค์ประกอบในภาพถ่ายที่เก็บรวบรวมซึ่งส่งผลเสียต่อการซิงโครไนซ์ (Synchronize) กับองค์ประกอบ BIM (Ibrahim, Lukins, Zhang, Trucco, & Kaka, 2009) นอกจากนี้ ปี ค.ศ. 2011 El-Omari และ Moselhi ได้เสนอวิธีการติดตามความคืบหน้าของงานก่อสร้างโดยการใช้เทคโนโลยีเลเซอร์สแกนนิ่งร่วมกับเทคโนโลยีรังวัดภาพดิจิตัล (Photogrammetry) ซึ่งทำให้ได้การประมวลผลที่รวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามการใช้งานเลเซอร์สแกนนิ่งยังคงต้องการค่าใช้จ่ายจำนวนมาก (El-Omari & Moselhi, 2011)

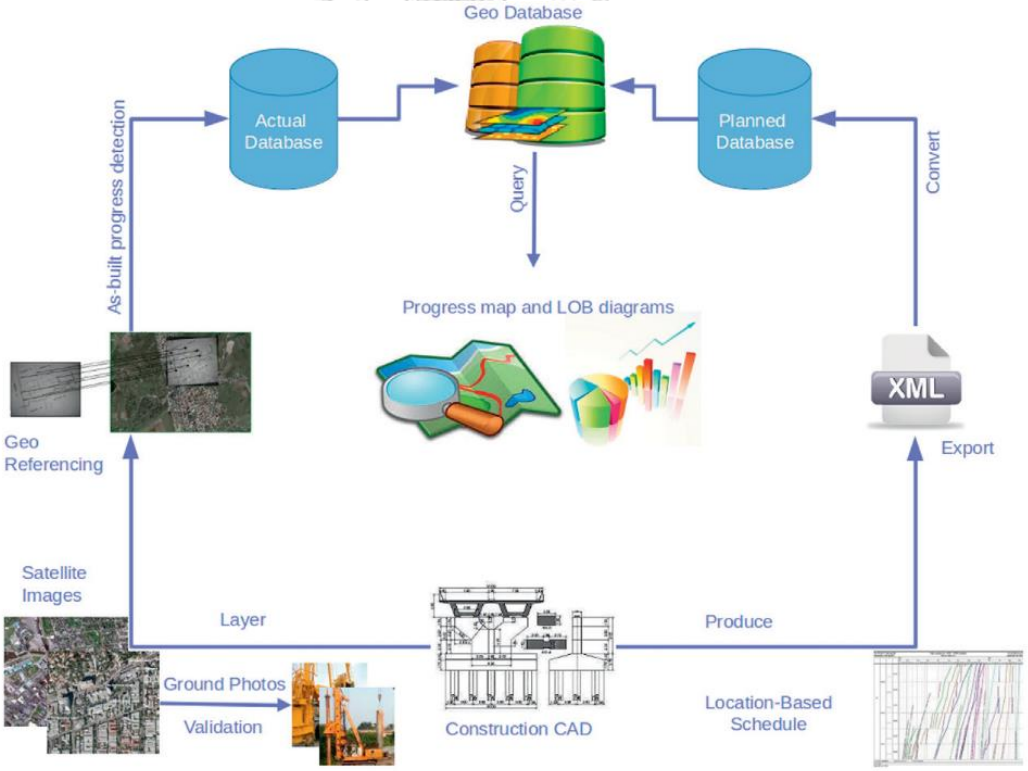
ต่อมาในปี ค.ศ. 2014 Dimitrov และ Golparvar-Fard ได้พัฒนาระบบที่สามารถจดจำพื้นผิววัสดุเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยอัตโนมัติจากการดึงข้อมูลรูปถ่ายจากสถานที่ก่อสร้างที่ถูกรวบรวมแบบสุ่ม โมเดล 3 มิติที่ถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายถึงความคืบหน้าการก่อสร้างหลังจากเปรียบเทียบกับแบบจำลองสภาพงานตามแผนงานที่วางไว้ ระบบที่นำเสนอนั้นมีความเรียบง่าย แต่ยังคงให้ค่าความแม่นยำที่ไม่คงที่ซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของระบบ นอกจากนี้ความแม่นยำของระบบยังแตกต่างกันไปตามวัสดุต่างชนิดกัน (Dimitrov & Golparvar-Fard, 2014)



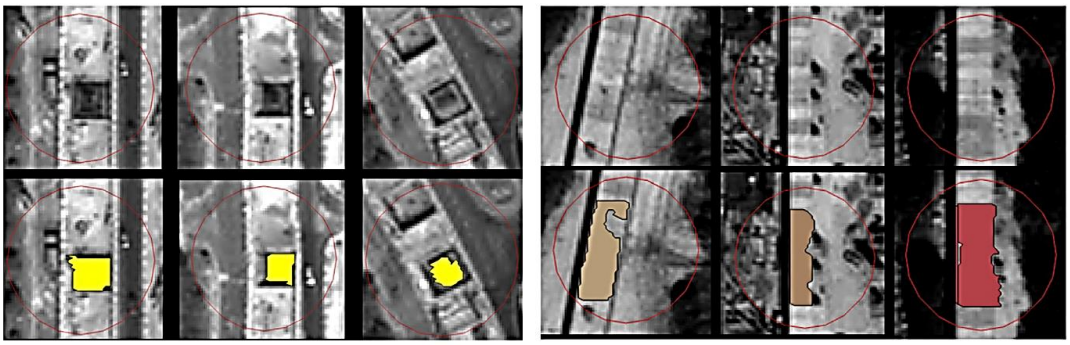
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของระบบที่ใช้การจดจำวัสดุเพื่อช่วยในการสร้างโมเดล (Dimitrov & Golparvar-Fard, 2014)

2.1.2 **การติดตามความคืบหน้าในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง**

ในขณะที่เทคโนโลยีที่ได้เสนอในการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้การตรวจสอบความคืบหน้าของงานก่อสร้างทั่วไปมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่สำหรับการใช้งานในโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง เช่น ถนน รางรถไฟ หรือสะพาน ยังคงมีข้อจำกัดและนำมาประยุกต์ใช้ได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น โครงการทางรถไฟยกระดับซึ่งมีสถานีก่อสร้างหลายแห่งและมีระยะทางยาว มาก หากต้องการติดตามความคืบหน้า จำต้องใช้เลเซอร์เซนเซอร์ (Laser sensor) หรือการติดตั้งกล้องดิจิตอลจำนวนมากเพื่อติดตามข้อมูลความคืบหน้าของโครงการ ซึ่งส่งผลให้เปลืองทั้งค่าใช้จ่ายและเปลืองเวลาอีกด้วย ในปี ค.ศ. 2016 Behnam และทีมจึงได้พัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าของงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง โดยนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลผ่านดาวเทียม (Satellite Remote Sensing) ประกอบการนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อสร้างโมเดล 3 มิติและใช้เทคนิคการจดจำคุณสมบัติเพื่อตรวจจับงานก่อสร้างในขั้นตอนต่างๆแล้วนำมารายงานด้วยแผนภูมิความคืบหน้าประกอบภาพถ่ายจากมุมมองด้านบน (Behnam et al., 2016)

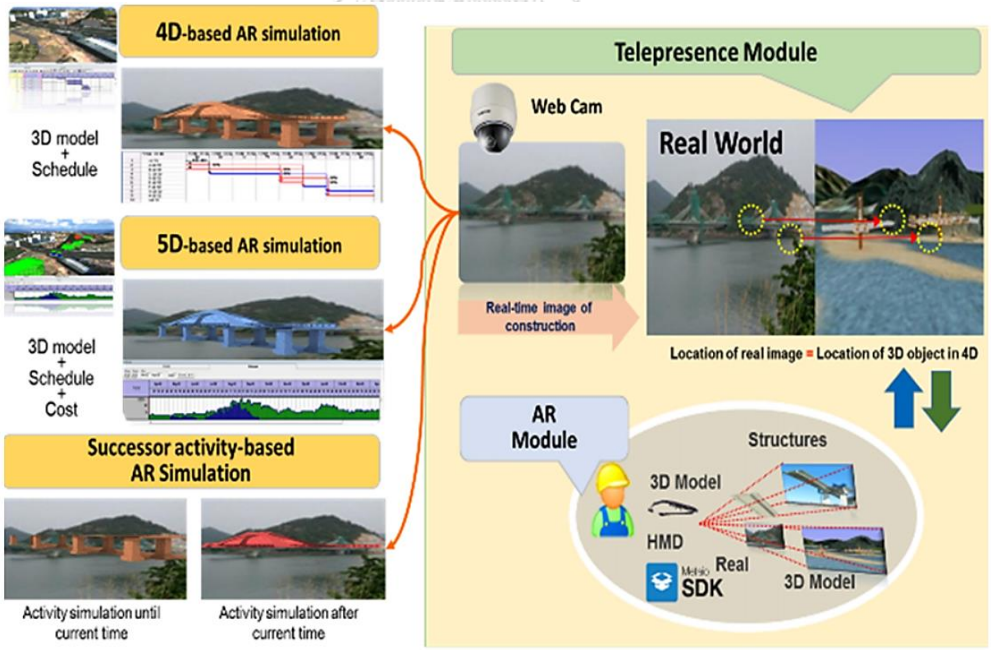


รูปที่ 2.5 การพัฒนาระบบติดตามความคืบหน้าแบบอัตโนมัติ (Behnam et al., 2016)

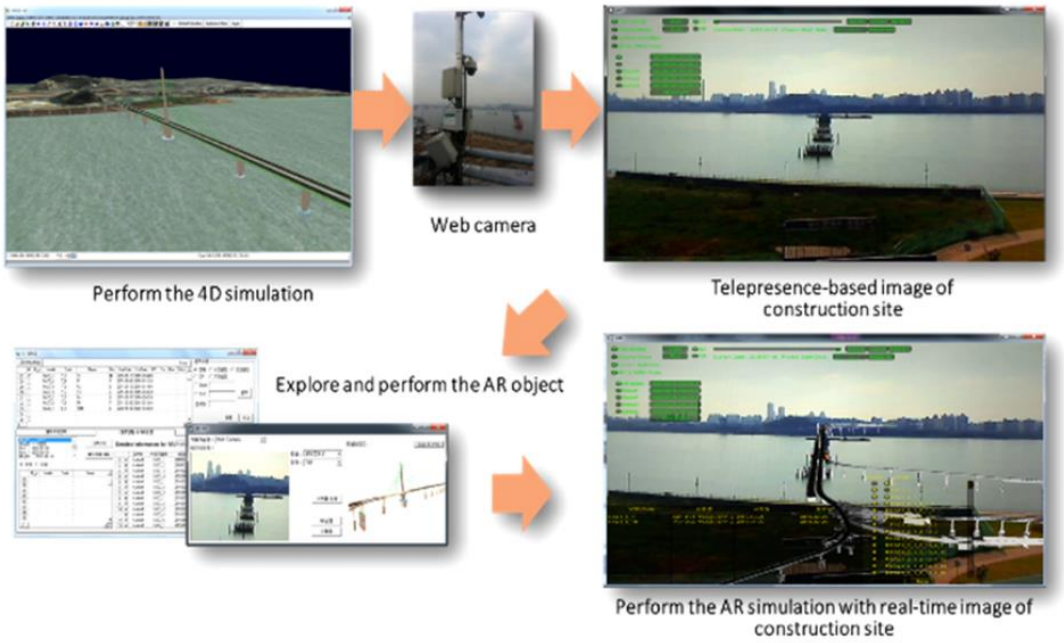


รูปที่ 2.6 วิธีการ OBIA สำหรับการตรวจจับงานฐานราก (Behnam et al., 2016)

ในปี ค.ศ. 2017 Kim และทีมพัฒนาระบบ 4D-based AR ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมและตรวจสอบความคืบหน้าของโครงการการก่อสร้างจากระยะไกล โดยใช้เทคโนโลยี BIM เพื่อสร้างแบบจำลองโครงการที่ประกอบไปด้วยข้อมูลแผนงาน, ความคืบหน้าของงาน และการบริหารค่าใช้จ่ายของงาน ประยุกต์ร่วมกับเทคโนโลยี AR นำแบบจำลองดังกล่าวมาซ้อนทับ ณ จุดที่โครงการกำลังก่อสร้างด้วยเทคนิคการระบุจุดแบบไร้เครื่องหมาย และทำการตรวจสอบจากระยะไกลด้วยเทคโนโลยีการสำรวจทางไกลเสมือนจริง (Telepresence) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและควบคุมโครงการได้ตามเวลาจริง (Kim et al., 2018)



รูปที่ 2.7 หน้าที่หลักของระบบ 4D-based AR (Kim et al., 2018)



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการใช้งานระบบ 4D-based AR ในงานวิจัย (Kim et al., 2018)

2.2 Building Information Modeling (BIM)

U.S. National Building Information Model Standard Project Committee ระบุว่า BIM คือ ข้อมูลดิจิทัลที่แสดงลักษณะทางกายภาพและลักษณะการใช้งานของอาคาร โดย BIM ถือเป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถใช้ร่วมกันและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อประกอบการตัดสินใจต่างๆระหว่างดำเนินโครงการก่อสร้างได้ BIM เป็นที่รู้จักอย่างมากในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและเป็นโมเดลสามมิติแบบดิจิทัลของอาคารและลักษณะภายในซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบของอาคารที่สามารถรวมคุณลักษณะข้อมูลและกฎพารามิเตอร์สำหรับแต่ละวัสดุ (Hergunsel, 2011) BIM ได้รับความสนใจอย่างมากในด้านการจัดการสถาปัตยกรรมวิศวกรรมการก่อสร้าง เนื่องจากมีหลักฐานว่าการใช้ BIM สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการจัดการงานก่อสร้าง (Zaher, Greenwood, & Marzouk, 2018) ปัจจุบันเทคโนโลยี BIM ถูกพัฒนาขึ้นในหลายรูปแบบ และมีการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อให้การใช้งาน BIM สามารถทำได้สะดวกยิ่งขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของเครื่องมือ BIM สำหรับการจัดการงานก่อสร้าง, ดัดแปลงจาก (Zaher et al., 2018)

ชื่อผลิตภัณฑ์	ผู้พัฒนา	การนำไปใช้	เว็บไซต์ผู้พัฒนา
Navisworks	Autodesk	Clash detection Scheduling Coordination	www.autodesk.com
ProjectWise Navigator	Bentley	Clash detection Scheduling Collaboration	www.bently.com
DP Manager	Digital Project	Scheduling Model review Collaboration Quantity take-off	www.digitalproject3d.com
Visual 4D Simulation	Innovaya	Scheduling Coordination	www.innovaya.com
Vico Office	Vico Software	Scheduling Coordination Cost estimation Quantity take-off	www.vicosoftware.com
Solibri model checker	Solibri	Clash detection Coordination Quantity take-off Design review	www.solibri.com

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

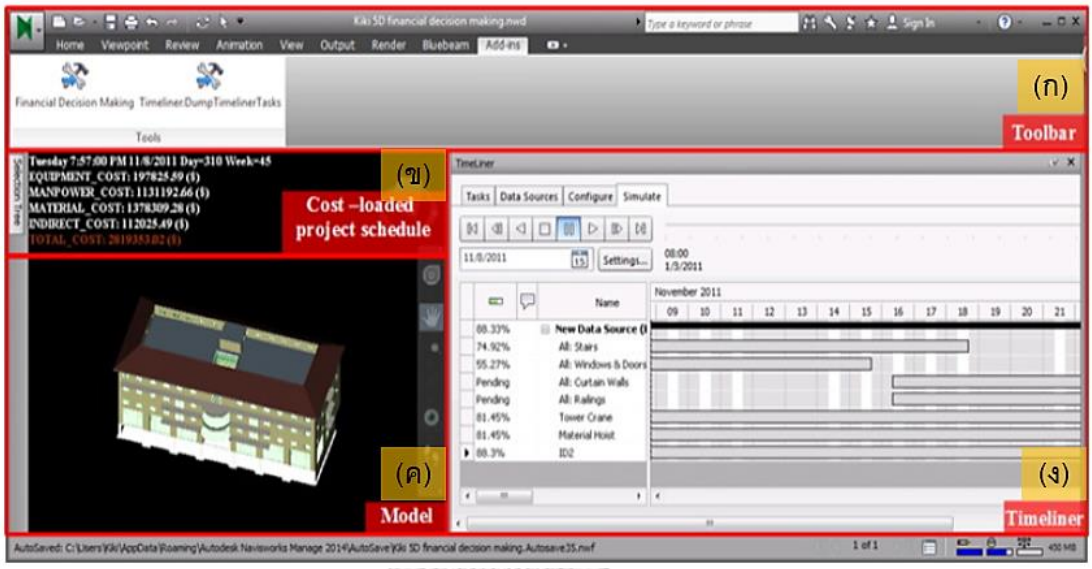
2.2.1 **BIM กับโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง**

BIM สามารถช่วยในการบริหารจัดการตลอดระยะเวลาของโครงการตั้งแต่ขั้นวางแผนและออกแบบการก่อสร้างไปจนถึงขั้นส่งมอบงานและบำรุงรักษา ซึ่ง BIM จะมาช่วยในการจัดทำฐานข้อมูลและเป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถใช้ร่วมกันได้ในโครงการ (Costin et al., 2018)

ในขั้นตอนของการวางแผน BIM สามารถช่วยในการประเมินสถานการณ์โดยให้ข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในการเลือกสถานการณ์ที่ดีที่สุดเพื่อลดเวลาและต้นทุนของโครงการ(Li, Chan, Huang, Skitmore, & Yang, 2012) นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ BIM ในขั้นตอนการวางแผนช่วยให้การสื่อสารระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ขั้นตอนการออกแบบ BIM สามารถช่วยในการประเมินผลและตรวจสอบเกณฑ์การออกแบบรวมทั้งช่วยการปรับปรุงคุณภาพในการออกแบบจากการแสดงโมเดลที่ชัดเจน และยังสามารถลด

ปัญหาในการประสานงานซึ่งเป็นปัญหาหลักที่พบได้มากที่สุดระหว่างการออกแบบ ต่อมาในขั้นตอนการวางกำหนดการและจัดการทรัพยากร BIM สามารถช่วยจัดลำดับงานและกิจกรรมในงานก่อสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงการซ้อนทับกันของกิจกรรมและเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการก่อสร้าง (Mawlana, Vahdatikhaki, Doriani, & Hammad, 2015) นอกจากนี้การใช้ความสัมพันธ์ของมิติเวลา (4D) และมิติการวางแผนต้นทุน (5D) ประกอบร่วมกับโครงการยังสามารถเพิ่มมูลค่าของโครงการได้มากขึ้น (Lu, Won, & Cheng, 2016)



รูปที่ 2.9 อินเทอร์เฟซการจำลอง 5 มิติ โดยใช้โปรแกรม Autodesk Navisworks 2014 ซึ่งประกอบด้วย (ก)แถบเครื่องมือในโปรแกรม (ข)ข้อมูลต้นทุนโครงการ (ค)แบบจำลองสามมิติโครงการ และ (ง)แผนการทำงานโครงการ (Lu et al., 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

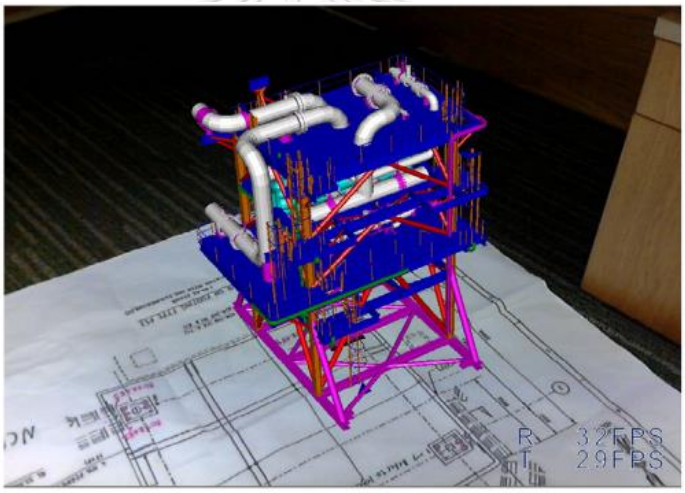
ในด้านการประมาณราคาหรือต้นทุนซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของโครงการ BIM สามารถช่วยการเตรียมการซื้อในปริมาณที่แม่นยำยิ่งขึ้น และช่วยในการจัดทำงบประมาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถป้องกันความล่าช้าและความสับสนได้อย่างมีนัยสำคัญ (Lee, Lee, Shim, & Park, 2012) ในระหว่างการก่อสร้างการใช้ BIM สามารถลดจำนวนคำขอข้อมูลและคำสั่งเปลี่ยนในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการผลิตรายละเอียดรายการวัสดุ และปรับปรุงประสิทธิภาพทางการเงินในช่วงการก่อสร้าง (Fanning, Clevenger, Ozbek, & Mahmoud, 2014) ระบุว่าการใช้ BIM ระหว่างการก่อสร้างสะพานสองแห่งในเดนเวอร์สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้ 5-9%

การตรวจสอบการก่อสร้างด้วย BIM สามารถช่วยในการป้องกันการเกิดข้อพิพาทในระหว่างการก่อสร้าง (Vick & Brilakis, 2016) เนื่องจากเอกสารการออกแบบและการก่อสร้างมีการเชื่อมโยงในแบบจำลอง BIM การประเมินทางเลือกและการจัดการการเปลี่ยนแปลงจึงง่ายขึ้นในระหว่างการ

ก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการประยุกต์ใช้ BIM ในการสร้างสะพานในทางด่วน Tokyo-Gaikan ในประเทศญี่ปุ่นสามารถปรับปรุงกระบวนการก่อสร้างให้ดีขึ้นและยังช่วยเพิ่มความเข้าใจในความซับซ้อนในโครงสร้างของโครงการ

2.3 Augmented Reality (AR)

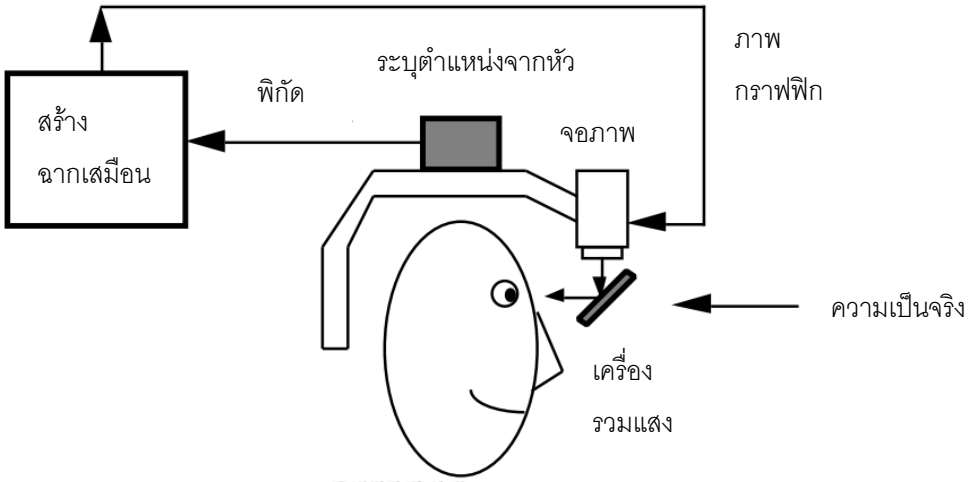
Augmented Reality (AR) เป็นรูปแบบหนึ่งของความเป็นจริงเสมือน Virtual Reality (VR) ในขณะที่เทคโนโลยี VR จะทำให้ผู้ใช้อยู่กับสภาพแวดล้อมสังเคราะห์อย่างสมบูรณ์และผู้ใช้ไม่สามารถเห็นโลกแห่งความจริงรอบตัวได้ ในทางตรงกันข้าม AR จะช่วยให้ผู้ใช้เห็นโลกแห่งความเป็นจริงโดยมีวัตถุเสมือนซ้อนทับหรือประกอบลงบนโลกแห่งความเป็นจริง กล่าวคือ AR จะเสริมโลกความเป็นจริงไม่เหมือน VR ที่จะแทนที่โลกความจริงด้วยโลกเสมือนอย่างสมบูรณ์ (Azuma, 1997)



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างในการใช้ AR เพื่อแสดงแบบจำลองเสมือนบนโลกจริง (Wang, Truijens, Hou, Wang, & Zhou, 2014)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

AR มีหลักการทำงานคือ 1. ระบุจุดหรือพื้นที่ที่ต้องการแสดงข้อมูล 2. ทำการประมวลผลเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวางบนพื้นที่นั้นๆตามมุมและระยะที่กำหนดไว้ 3. แสดงผลผ่านหน้าจอที่ซ้อนวัตถุเสมือนเข้ากับพื้นที่จริง โดยในปัจจุบันเทคโนโลยี AR สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้น และนำไปปรับใช้ในหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น ทางด้านการแพทย์ ทางการทหาร ทางการศึกษา หรือเพื่อสื่อและสิ่งบันเทิง รวมถึงในอุตสาหกรรมการก่อสร้างอีกด้วย (Chi, Kang, & Wang, 2013)



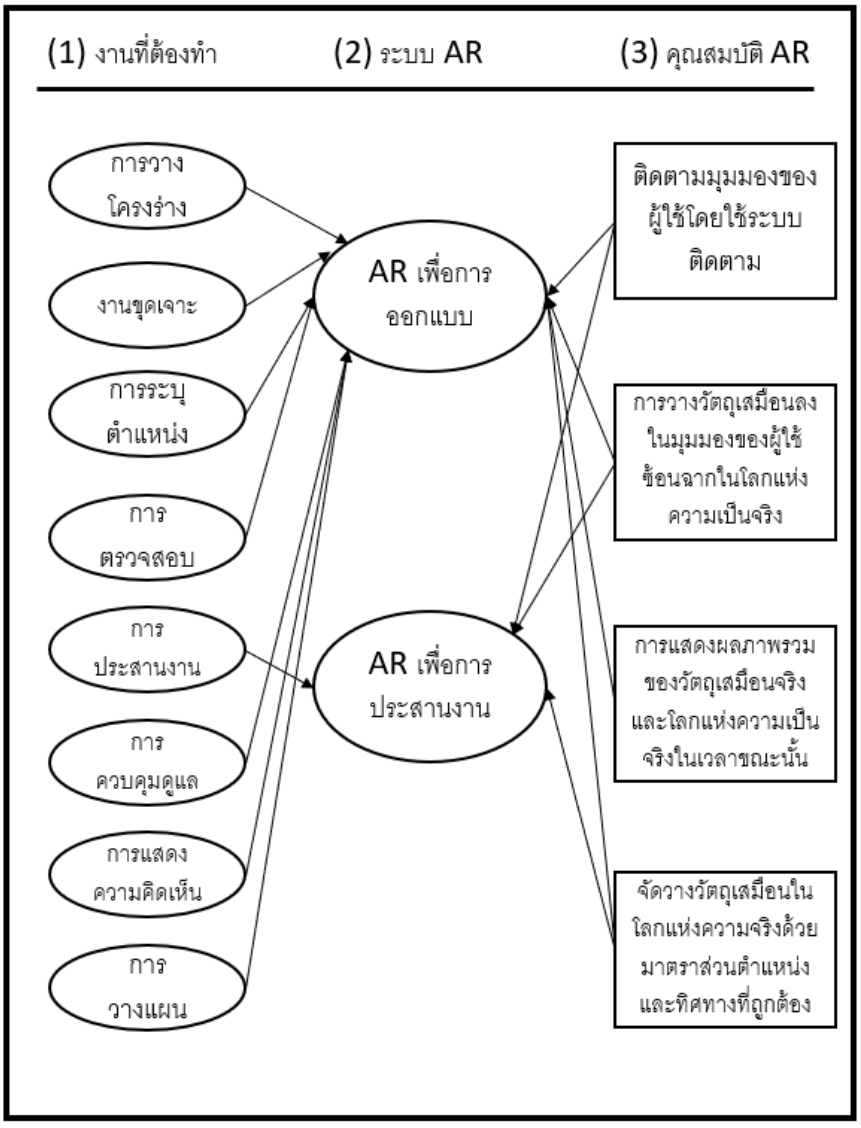
รูปที่ 2.11 รูปแบบการทำงานของเครื่องแสดงผล AR ที่สวมบนศีรษะ, ดัดแปลงจาก (Azuma, 1997)

2.3.1 **เทคโนโลยี Augmented Reality ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง**

ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง AR ถูกนำมาใช้ เพื่อทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการได้สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ในงานด้านวิศวกรรมนั้นการสร้างภาพ (Visualization) สามารถยกระดับความรู้ความเข้าใจของผู้ใช้หรือประสบการณ์การเรียนรู้และช่วยในการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนหรือเพื่อแสดงให้เห็นถึงการบังคับใช้แนวคิดที่เป็นนามธรรมกับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริง (Chu, Matthews, & Love, 2018)

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำเทคโนโลยี AR มาใช้ในงานก่อสร้าง อาทิ เช่น ในปี 2008 Shin และDunston ศึกษาพื้นที่การใช้งานที่หลากหลายสำหรับเทคโนโลยี AR ในการก่อสร้างโดยการแบ่งงานในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างและทำการวิเคราะห์การใช้เทคโนโลยี AR เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานหรือแก้ปัญหาในขั้นตอนนั้นๆ (Shin & Dunston, 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของงานกับระบบ AR และคุณสมบัติการใช้ AR, ดัดแปลงจาก (Shin & Dunston, 2008)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

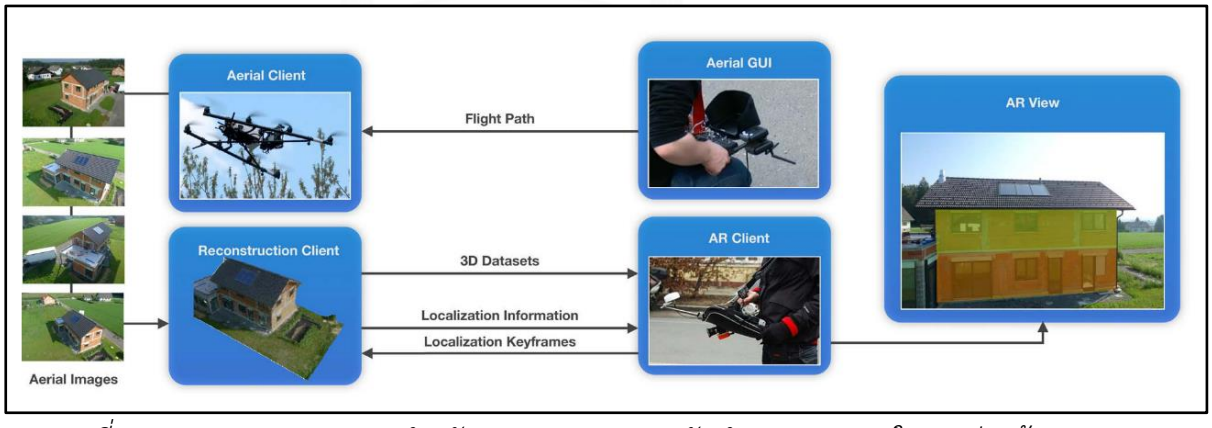
ต่อมาในปี 2013 Chi และทีมได้กล่าวถึงแนวโน้มในการใช้งานเทคโนโลยี AR สำหรับอุตสาหกรรม AEC (Architecture, Engineering and Construction) ในอนาคตโดยแบ่งเป็น 6 ประเภทได้แก่ (1) การสำรวจภาคสนามโดยอาศัยการระบุจุดแสดงข้อมูลแบบผสม (2) การเคลื่อนไหวในภาคสนามและการควบคุมการแสดงผลของ AR (3) การเชื่อมโยงกับข้อมูลที่จะใช้ในระบบเฉพาะสถานที่ (4) การเข้าถึงข้อมูลภาคสนามโดยใช้บริการที่แพร่หลาย (5) อุปกรณ์ AR ที่สามารถพกพาได้ในสนาม (6) การเพิ่มความตระหนักรู้การใช้เทคโนโลยี AR ในอุตสาหกรรม AEC (Chi et al., 2013)

Architecture of an AR application

Data Phase	Computing Phase	Tangible Phase	Presentation Phase
Cloud Computing Environment	Localization Technologies	Portable and Mobile Devices	Natural User Interface
• BIM • Database • SOA • Internet	• GPS • UWB • SLAM • RFID • Barcode	• Cheap • Small • Light • Wearable • Ubiquitous	• Gesture • Kinesthetic • Intuitive Control • Motion Capture

รูปที่ 2.13 เทคโนโลยีที่เป็นไปได้สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชั่น AR (Chi et al., 2013)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในอดีตที่ได้นำ AR มาใช้ในการบริหารจัดการการก่อสร้างการตรวจสอบและการจัดทำเอกสารในงานก่อสร้าง โดยในปี 2014 Zollmann และทีมได้นำเสนอวิธีการที่ใช้การสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพถ่ายทางอากาศเพื่อบันทึกข้อมูลความคืบหน้าโดยอัตโนมัติและนำ AR มาประยุกต์เพื่อเปรียบเทียบความคืบหน้าของโครงการและเพื่อการนำเสนอภายในโครงการ (Zollmann et al., 2014) โดยในงานวิจัยดังกล่าวยังได้มีการนำเสนอเทคนิคในการใช้ AR เพื่อประยุกต์กับการนำเสนอในงานก่อสร้างอีกด้วย



รูปที่ 2.14 ระบบ Mobile AR สำหรับการตรวจสอบและจัดทำเอกสารสถานในงานก่อสร้าง (Zollmann et al., 2014)

2.3.2 **เทคนิคการใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อการจัดการการก่อสร้าง**

2.3.2.1 รูปแบบการวางซ้อน

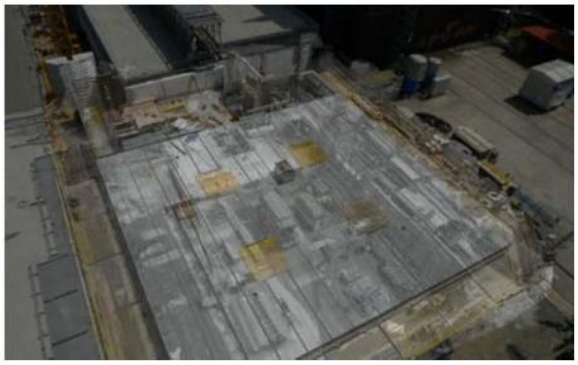
1) การซ้อนทับโดยตรง (Naive Overlay) เป็นการซ้อนทับอย่างสมบูรณ์บนสิ่งแวดล้อมจริง ทำให้ผู้สังเกตการณ์สามารถเห็นข้อมูลเสมือนหรือโมเดลสามมิติอย่างชัดเจน

รูปที่ 2.15 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับโดยตรง (Zollmann et al., 2014)

2) การซ้อนทับผสาน (Blending) เป็นการซ้อนทับโดยข้อมูลที่จะนำมาใช้จะทำให้โปร่งใสและผสมเข้ากับสิ่งแวดล้อมจริง

รูปที่ 2.16 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับผสาน (Zollmann et al., 2014)

3) การซ้อนทับภายใน (Ghosting) เป็นการซ้อนทับที่เปรียบเสมือนผู้ใช้มีแว่นตาเอกซเรย์ที่ทำให้สามารถมองทะลุถึงวัสดุหรือองค์ประกอบภายในได้ โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้คือข้อมูลภายในของสิ่งแวดล้อมจริงนั้นๆ



รูปที่ 2.17 การใช้เทคโนโลยี AR ซ้อนทับภายใน (Zollmann et al., 2014)

2.3.2.2 เทคนิคการกรองข้อมูลในการนำเสนอ

เทคนิคการกรองข้อมูลจะทำให้ผู้สังเกตการณ์หรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการสามารถเข้าใจความคืบหน้าของงานก่อสร้างได้มากขึ้น โดยวิธีการกรองข้อมูลจะแสดงเฉพาะข้อมูลเสมือนในพื้นที่เฉพาะในเวลาที่สนใจกับสถานะปัจจุบันของสถานที่ก่อสร้างผ่านมุมมองเดียวกัน

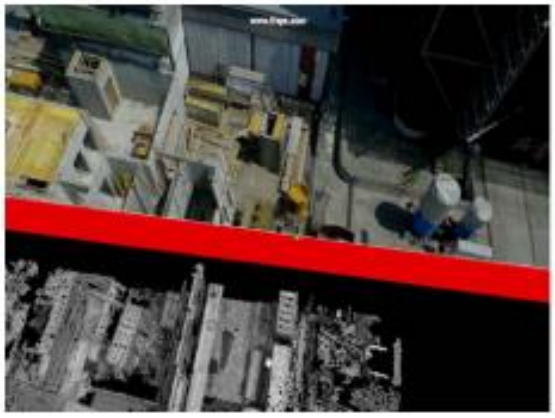
1) ตัวเลื่อนสองมิติ (Two-Dimensional Slider) เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการแสดงภาพด้านข้างเพื่อการเปรียบเทียบก่อนและหลัง โดยมีหลักที่จะต้องจับภาพทั้งในอดีตและปัจจุบันจากมุมมองเดียวกัน

รูปที่ 2.18 การสร้างภาพข้อมูลแบบคู่ขนานโดยใช้ตัวเลื่อน 2 มิติ โดยอินพุตเมาส์จะกำหนดเส้นขอบระหว่างภาพวิดีโอและเนื้อหาเสมือน (Zollmann et al., 2014)

2) เลนส์วิเศษสองมิติ (Two-Dimensional Magic Lens) อีกเทคนิคหนึ่งที่มักใช้ในการสร้างการเปรียบเทียบก่อนและหลัง แต่เลนส์วิเศษ 2 มิติช่วยให้ผู้ใช้สามารถย้ายพื้นที่โฟกัสเฉพาะจุดที่สนใจได้มากขึ้น

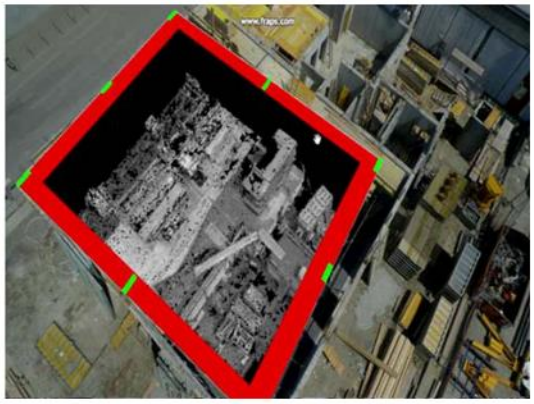
รูปที่ 2.19 การใช้เทคโนลยี AR ด้วยเทคนิคเลนส์วิเศษสองมิติ (Zollmann et al., 2014)

3) ตัวเลื่อนสามมิติ (Three-Dimensional Slider) ตัวเลื่อนแบบสามมิติใช้สำหรับการเปรียบเทียบสภาพของงานก่อสร้างในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยแถบเลื่อนจะถูกกำหนดเป็นแนวเส้นซึ่งมีความสูงสัมพันธ์กับความสูงในแบบจำลองสามมิติ ซึ่งรูปแบบสามมิติจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้เข้าใจมากขึ้นและด้วยความสัมพันธ์เกี่ยวกับความลึกและความสูงของโครงการ



รูปที่ 2.20 เทคนิคตัวเลื่อนสามมิติโดยขอบระหว่างข้อมูลจะเป็นแนวเส้นที่มีความสูงสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติ (Zollmann et al., 2014)

4) เลนส์วิเศษสามมิติ (Three-Dimensional Magic Lens) เลนส์วิเศษสามมิติช่วยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดพื้นที่โฟกัสรูปกล่องในมุมมอง AR โดยกล่องสามารถเคลื่อนย้ายและปรับขนาดแบบโต้ตอบเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้

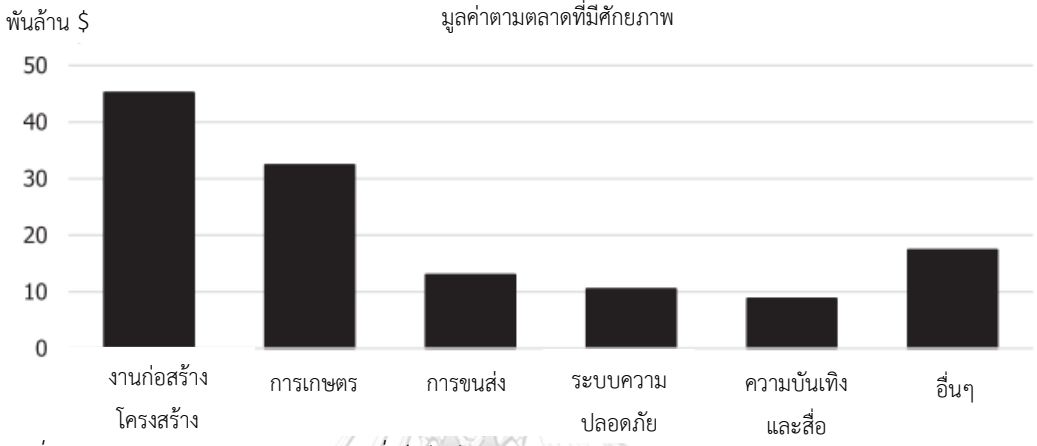


รูปที่ 2.21 การใช้เทคโนลยี AR ด้วยเทคนิคเลนส์วิเศษสามมิติ (Zollmann et al., 2014)

2.4 อากาศยานไร้คนขับ (UAVs)

โดรนหรือยานพาหนะไร้คนขับ (UAVs) เป็นเครื่องบินไร้นักบินที่ถูกนำไปใช้ในการใช้งานภาคพลเรือน เทคโนโลยี UAV มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและสามารถเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ทางธุรกิจได้

อย่างมาก อุตสาหกรรมจำนวนมากอาจได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีไร้นักบินเนื่องจากสามารถลดต้นทุนการใช้แรงงานได้ โดรนสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ ยิ่งไปกว่านั้นเทคโนโลยีไร้นักบินช่วยลดน้ำหนักของเครื่องบินและลดการสิ้นเปลืองพลังงานจากการสร้างห้องนักบินและระบบสิ่งแวดล้อมซึ่งจัดหาอากาศการควบคุมความร้อนและความดันในห้องโดยสารโดยไม่จำเป็น (Otto, Agatz, Campbell, Golden, & Pesch, 2018)



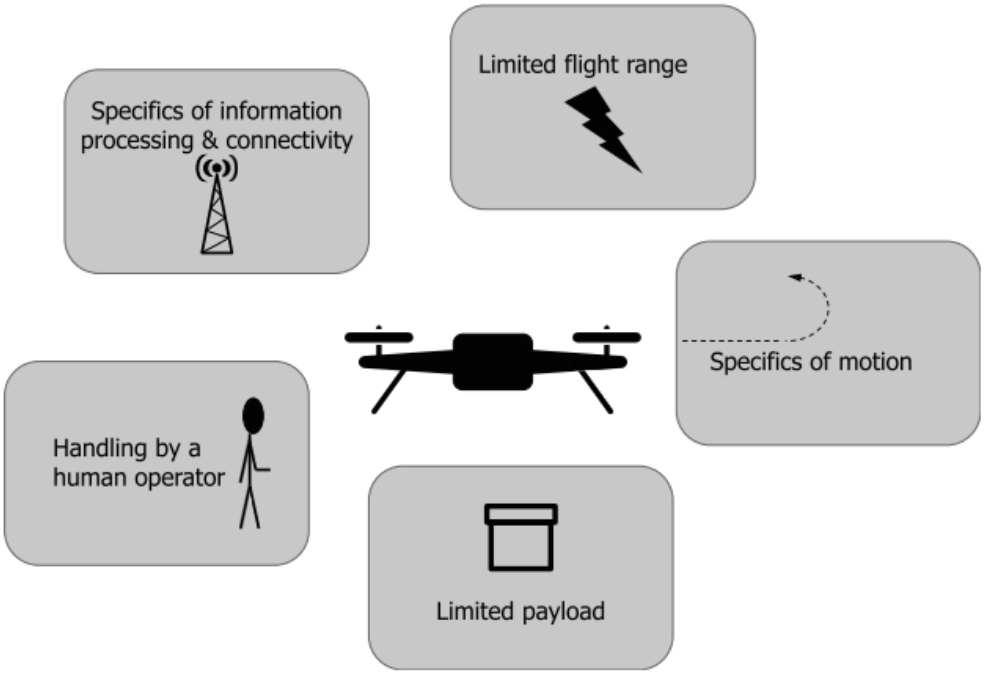
รูปที่ 2.22 กราฟแสดงมูลค่าตลาดที่เป็นไปได้ของการใช้งานโดรนเชิงพาณิชย์, ดัดแปลงจาก (Otto et al., 2018)

2.4.1 **ลักษณะของโดรนที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและการปฏิบัติการ**

1) ลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนไหว โดรนสามารถเคลื่อนที่ได้ใน 3 มิติ และสามารถรักษาความเสถียรของเที่ยวบินให้อยู่ในระดับความสูงที่ต้องการและลงจอดได้โดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น รัศมีวงเลี้ยวต่ำสุดในขณะที่เปลี่ยนทิศทางแบบเลี้ยว (Avellar, Pereira, Pimenta, & Iscold, 2015)
2) น้ำหนักบรรทุกที่จำกัด ส่วนใหญ่โดรนสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 3 กิโลกรัม (6.5 ปอนด์) โดยน้ำหนักที่บรรทุกนั้นสัมพันธ์กับความจุของหน่วยเก็บพลังงานของโดรนและขนาดของโดรน เนื่องจากเพื่อรักษาการบินให้มั่นคงและเสถียรใบพัดต้องสร้างแรงขับเคลื่อนเพียงพอที่จะต้านแรงโน้มถ่วงได้ (Agatz, Bouman, & Schmidt, 2018)
3) ช่วงบินจำกัด โดรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานจากพลังงานพกพาซึ่งมีความจุจำกัด การใช้พลังงานของโดรนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทของโดรน ระดับความสูงที่บิน สภาพการบิน ความเร็วในการบิน น้ำหนักบรรทุก และสภาพอากาศ
4) ข้อมูลเฉพาะของการประมวลผลและการเชื่อมต่อข้อมูล โดรนต้องรักษาระยะกับสถานีควบคุมภาคพื้นดินเพื่อรับคำสั่งและถ่ายโอนข้อมูลที่รวบรวมได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องมีการรักษา

ความแน่นอนของสัญญาณอยู่เสมอเนื่องจากสัญญาณจะอ่อนลงในด้านเงามืดของอาคารในเขตเมืองหรือใต้ต้นไม้ นอกจากนี้บริเวณเสาโทรคมนาคมอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้

5) การควบคุมด้วยคน ในหลายๆประเทศโดรนยังคงต้องมีคนปฏิบัติงานร่วม เนื่องจากโดยทั่วไปโดรนต้องมีการตั้งค่าจำนวนหนึ่งก่อนที่จะบินขึ้นและหลังลงจอด จากระบบดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานร่วมกับโดรนสามารถตรวจสอบข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยโดรนได้ตามเวลาจริง



รูปที่ 2.23 ลักษณะของโดรนที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนปฏิบัติการ (Otto et al., 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2 **โดรนในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง**

ในงานก่อสร้างได้มีการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้นักบิน (UAVs) ติดตั้งกล้อง สำหรับการตรวจสอบการก่อสร้าง สำรวจสถานที่ก่อสร้าง ตรวจสอบความคืบหน้า และตรวจสอบโครงสร้างสำหรับพื้นที่ที่เข้าถึงยาก ไม่กี่ปีที่ผ่านความนิยมใช้โดรนในงานก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากสามารถปฏิบัติการได้รวดเร็วและไม่เปลืองค่าใช้จ่ายประกอบกับสามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติของสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลภาพที่รวบรวมผ่าน UAVs เปลี่ยนผลลัพธ์ให้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมาก (Ham et al., 2016)

เป้าหมายของการใช้ UAV เพื่อการบริหารจัดการการก่อสร้างประกอบไปด้วย

1) รวบรวมภาพหรือวิดีโอจากมุมมองที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากที่สุดกับโครงการ
2) วิเคราะห์ภาพด้วย BIM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระหว่างการก่อสร้าง(วิเคราะห์ความคืบหน้าและคุณภาพในการก่อสร้าง)
3) ตรวจสอบการทำงานระหว่างการก่อสร้างเพื่อเพิ่มผลิตผลและความปลอดภัยในการทำงาน
4) บอกลักษณะและภาพรวมของสภาพของระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง
5) อัพเดทสถานะล่าสุดของโครงการได้อย่างรวดเร็วกำลังซึ่งผู้ดำเนินการสามารถทำได้ในขณะที่อยู่ ทั้งในโครงการและนอกโครงการ

ตารางที่ 2.2 UAV สำหรับงานก่อสร้างและการควบคุมงานก่อสร้าง (ดัดแปลง (Ham et al., 2016)

การนำไปใช้	**การวิเคราะห์ข้อมูล**	**ประยุกต์ร่วมกับ BIM**
การติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง	ประยุกต์ร่วมกับ BIM เพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง 3 และ 4 มิติ	ใช่
	ใช้ประโยชน์จาก 4D BIM สำหรับการตรวจสอบงานระหว่างกำลังปฏิบัติงาน	ใช่
	ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงเรขาคณิต	ไม่
ควบคุมงานก่อสร้าง	การรวมภาพถ่ายทางอากาศกับโมเดล 3 มิติด้วยระบบ Augmented Reality	ใช่
การตรวจสอบอาคาร	การทำแผนที่ 3 มิติของแผ่นดินไหววิเคราะห์การสร้างความเสียหายต่ออาคาร	ไม่
	ตรวจจับรอยร้าวบนอาคาร	ไม่
การสำรวจ	การสร้างภาพ 3 มิติด้วยภาพ	ไม่
	การประยุกต์อ้างอิงทางภูมิศาสตร์โดยใช้ข้อมูล GPS (Global Positioning System)	ไม่
	การทำแผนที่ 3 มิติสำหรับการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของดิน	ไม่
การตรวจสอบความปลอดภัย	การตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อนับจำนวนหมวกป้องกันอันตรายในรูปถ่าย	ไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา จะทำให้ทราบว่าตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน มีความพยายามศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการเพิ่มศักยภาพในการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างอยู่อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะทั้งในด้านของการเก็บข้อมูลของโครงการที่มีการพัฒนาการใช้เครื่องมือหรือนวัตกรรมต่างๆ อาทิเช่น การติดตั้งกล้องบนเครื่องจักรเพื่อบันทึกภาพไปพร้อมกับขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน การติดตั้งกล้องในพื้นที่ก่อสร้างเพื่อสังเกตและตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของงานในระหว่างการก่อสร้าง การใช้เลเซอร์สแกนเนอร์เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แต่วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง เนื่องจากลักษณะงานที่มีระยะทางยาวและขนาดพื้นที่ใหญ่ ทำให้ตัวเลือกในการใช้งานอากาศยานไร้คนขับหรือโดรนกลายเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เพราะเป็นเครื่องมือที่ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้จากการศึกษางานวิจัยพบว่าโดรนยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งทั้งในด้านของการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างและด้านอื่นอีกด้วย

ในด้านของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเทียบกับแผนการทำงานนั้น เทคโนโลยีแบบจำลองเสมือนเชิงสารสนเทศหรือ Building Information Modeling (BIM) ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เพราะนอกจากทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังทำให้การแบ่งปันข้อมูลในระหว่างการก่อสร้างเกิดขึ้นอย่างมีระบบ และยังมีผลงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้งานเทคโนโลยี BIM ในงานก่อสร้างสามารถยกระดับมูลค่าของโครงการการก่อสร้างได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

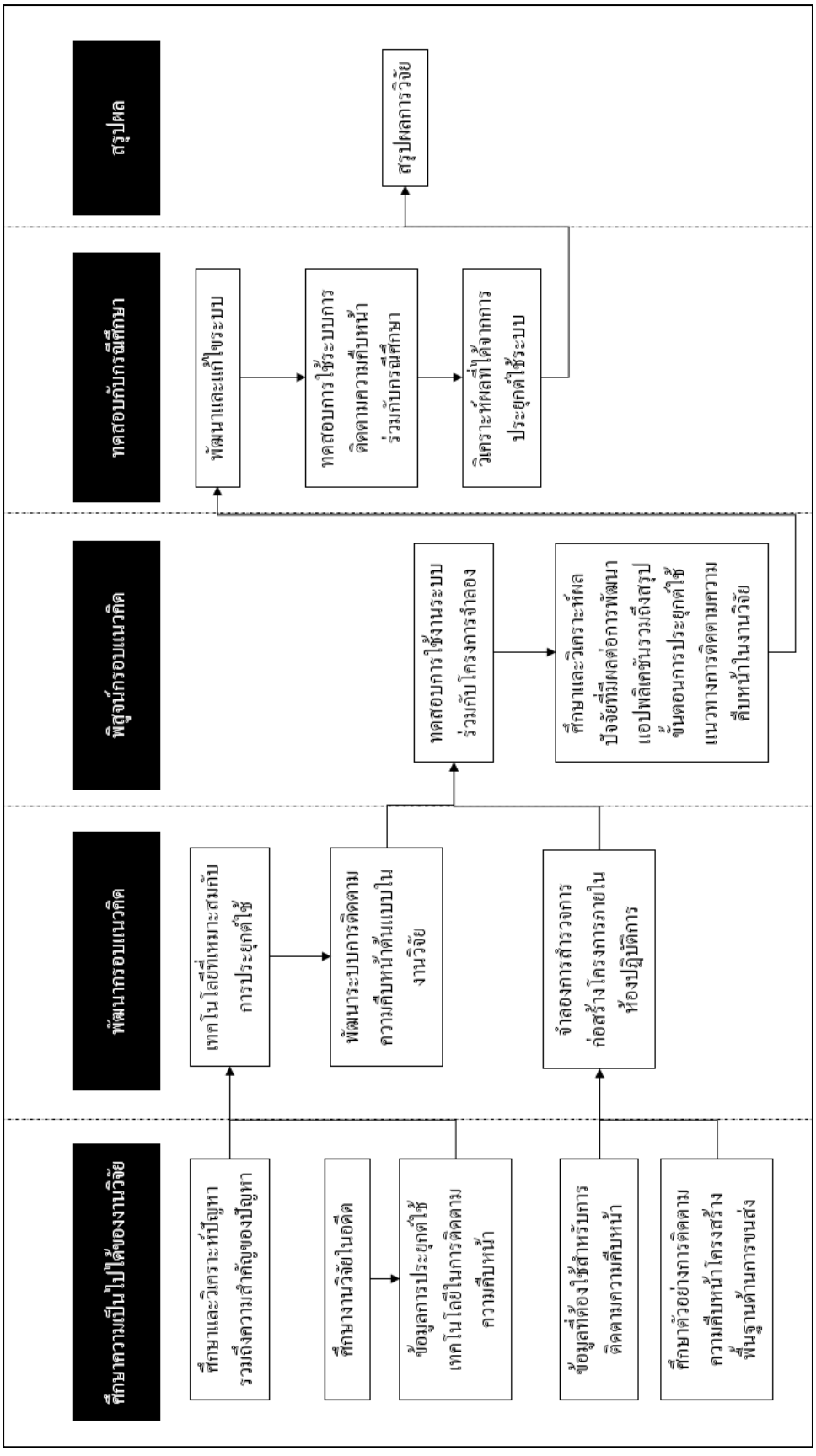
บทนี้กล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย โดยมีหัวข้อประกอบไปด้วย 1.ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics) ซึ่งจะอธิบายถึงประเภทของงานวิจัย 2.การออกแบบงานวิจัย (Research Design) ที่จะอธิบายโครงสร้างขั้นตอนการออกแบบงานวิจัย และ 3.วิธีการทำงานวิจัย (Research Method) ที่อธิบายวิธีการทำศึกษาและทำการวิจัยอย่างละเอียด

3.1 ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics)

งานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นงานวิจัยประยุกต์ (Applied Research) เนื่องด้วยงานวิจัยศึกษาองค์ความรู้ด้านการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง และทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียและการใช้งานเทคโนโลยีต่างๆในการบริหารจัดการการก่อสร้างตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางสำหรับการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง โดยผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยคือทางเลือกใหม่ในการติดตามความคืบหน้าของการก่อสร้างที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้อย่างเกิดประโยชน์และอาจลดปัญหาที่เกิดจากขั้นตอนการติดตามความคืบหน้าในปัจจุบัน

3.2 การออกแบบงานวิจัย (Research Design)

เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบงานวิจัยแบ่งเป็นหัวข้อหลักดังนี้ ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย, พัฒนากรอบแนวคิดเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในงานวิจัย, พิสูจน์แนวคิดภายใต้ห้องปฏิบัติการ, พัฒนาระบบเพื่อทดสอบกับกรณีศึกษา และสรุปผลการวิจัย โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 วิธีการทำงานวิจัย (Research Method)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและแนวทางปฏิบัติในงานวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการในการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง

3.3.1 ศึกษาปัญหาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในปัจจุบัน และศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการดังกล่าว นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์ต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา และผลที่ตามมาในงานด้านการบริหารจัดการก่อสร้าง

3.3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อในงานวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่

1) งานวิจัยในอดีตจนถึงปัจจุบันที่มีความเกี่ยวข้องกับการติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง
2) เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่ถูกใช้และประยุกต์ใช้ในการติดตามความคืบหน้า
3) ข้อมูลที่ต้องใช้ในกระบวนการการติดตามความคืบหน้า อาทิเช่น ข้อมูลแผนงาน ข้อมูลโครงการ แบบแปลนโครงการฯลฯ

3.3.3 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตสำหรับงานวิจัย

ระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไขในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในปัจจุบัน โดยเน้นการศึกษาไปที่บทความที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งโดยเฉพาะ รวมทั้งวิเคราะห์การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลักษณะของโครงการดังกล่าว

3.3.4 ออกแบบและเสนอกรอบแนวคิด

เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดในการติดตามความคืบหน้า งานวิจัยนี้ได้เลือกการใช้แนวคิดการรวมเทคโนโลยี เพื่อประยุกต์ใช้กับโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง และออกแบบระบบการเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างแผนงานก่อสร้างและสภาพงานจริงที่โครงการ โดยงานวิจัยนี้เลือกการใช้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) ร่วม Augmented

Reality (AR) สำหรับการเข้าถึงข้อมูลแผนงานก่อสร้าง และใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) หรือโดรนสำหรับการสำรวจสภาพงานจริงที่โครงการ

3.3.5 **พัฒนาแอปพลิเคชันช่วยเหลือในการตรวจสอบติดตามความคืบหน้า**

งานวิจัยนำข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับศึกษาแผนงานของโครงการมาพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยมีหลักการคือ นำเสนอแผนการก่อสร้างผ่านการแสดงแบบจำลองสามมิติของโครงการซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถเปลี่ยนไปตามวันที่ต้องการตรวจสอบ และนำแบบจำลองมาซ้อนทับกับวิดีโอที่ได้จากการสำรวจด้วยโดรน เพื่อให้ผู้ตรวจสอบสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแผนงานกับสภาพงานจริงได้

3.3.6 **พิสูจน์แนวคิดในงานวิจัย**

จำลองการใช้งานโดรนสำหรับการบันทึกวิดีโอสำรวจงานก่อสร้าง และนำวิดีโอที่ได้มาตรวจสอบความคืบหน้าผ่านการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันในงานวิจัย หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันเพื่อพิสูจน์แนวคิดของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 ข้อหลัก ได้แก่

1) การแสดงผล - โครงสร้างในแบบจำลองสามมิติสามารถแสดงซ้อนทับกับโครงสร้างบนวิดีโอที่ได้จากการสำรวจด้วยโดรน
2) ความถูกต้อง - แอปพลิเคชันสามารถแสดงแบบจำลองสามมิติได้ตรงตามวันที่ผู้ใช้ต้องการตรวจสอบ
3) การดึงข้อมูล – แอปพลิเคชันสามารถดึงข้อมูลทั้งหมดในแผนการทำงานออกมาได้ตรงตามโครงสร้างที่ระบุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.7 **ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแอปพลิเคชัน**

วิเคราะห์การพัฒนาแอปพลิเคชันในงานวิจัย เพื่อระบุถึงปัจจัยที่มีผลในการพัฒนาแอปพลิเคชัน รวมถึงแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขแอปพลิเคชันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ

3.3.8 **ปรับและแก้ไขแอปพลิเคชัน**

ปรับและแก้ไขค่าสำคัญเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานประยุกต์สำหรับการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งในกรณีศึกษา

3.3.9 **ทดสอบแนวคิดกับกรณีศึกษา**

นำกรณีศึกษามาทดสอบติดตามความคืบหน้าด้วยระบบแอปพลิเคชันงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณีตามลักษณะของโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง

1) กรณีเส้นทางของโครงการเป็นทางตรงตลอดการสำรวจ
2) กรณีเส้นทางของโครงการมีบางส่วนทางเป็นทางโค้งร่วมด้วย

3.3.10 **วิเคราะห์และสรุปผล**

วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์แอปพลิเคชันในงานวิจัยเพื่อตรวจสอบติดตามความคืบหน้าในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ รวมทั้งศึกษาความเหมาะสมหรือข้อจำกัดต่างๆในการใช้งานแอปพลิเคชัน และทำการสรุปผลการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงกระบวนการพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) และ Augmented Reality (AR) ร่วมกับวิดีโอที่ได้จากการใช้งานอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle)

4.1 แนวทางการพัฒนาระบบ

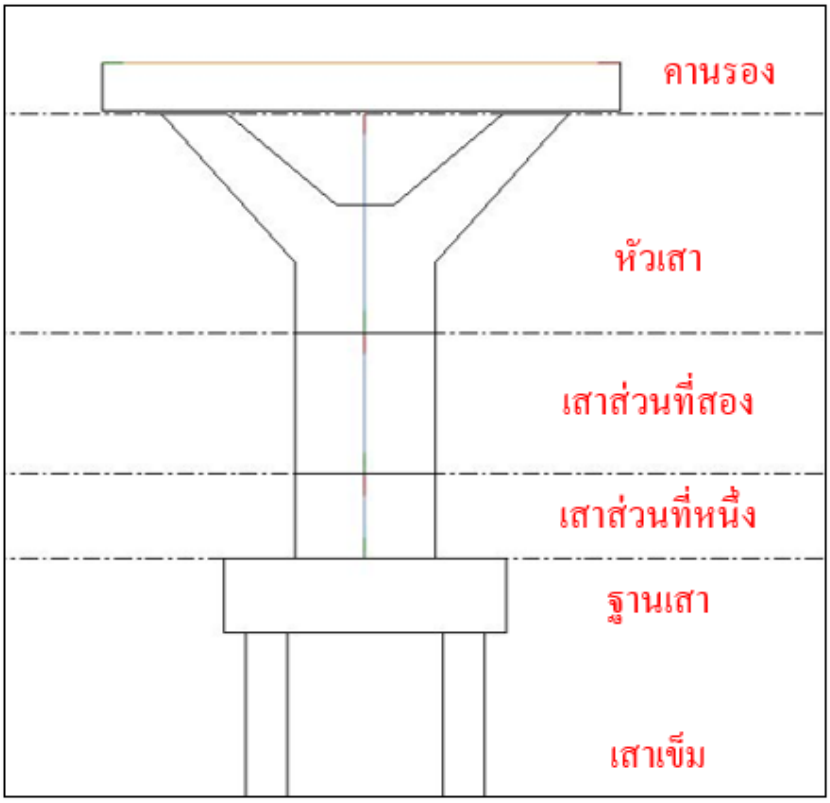
งานวิจัยต้องการสร้างแบบจำลองข้อมูล 4 มิติซึ่งสามารถแสดงสภาพของโครงการได้ตามแผนการทำงาน ผ่านการรวมข้อมูลแบบจำลองสามมิติของโครงการและแผนการทำงานโครงการ โดยแบบจำลองข้อมูล 4 มิติที่ได้จะถูกนำไปซ้อนทับบนวิดีโอที่จากการสำรวจสภาพงานจริงของโครงการด้วยโดรน และสังเกตความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามแผนงานและสภาพงานตามจริงเพื่อวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการ นอกจากนี้งานวิจัยต้องการนำข้อมูลแผนงานก่อสร้างมาแสดงตามโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบอีกด้วยเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการติดตามความคืบหน้า นอกจากการเปรียบเทียบความเหมือนหรือแตกต่างระหว่างแบบจำลองและสภาพงานจริงเพียงอย่างเดียว เพื่อพัฒนาระบบดังกล่าว งานวิจัยแบ่งขั้นตอนการพัฒนาเป็น 4 ขั้นหลักได้แก่

1) จำลองการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
2) จัดเตรียมข้อมูลและซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่ต้องใช้ในการพัฒนาระบบ
3) ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง
4) สร้างแอปพลิเคชันประยุกต์ที่ผนวกข้อมูลและวิธีการใช้เทคโนโลยี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.1 งานก่อสร้างจำลองในห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยจำลองการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง (โครงการก่อสร้างทางยกระดับ) ภายในห้องปฏิบัติการ ในรูปแบบของโครงการที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งมีการก่อสร้างเฉพาะเสาตอม่อ 4 ต้น โดยในแต่ละต้นมีกิจกรรมการก่อสร้างที่เหมือนกันประกอบไปด้วย เสาเข็ม ฐานเสา เสาส่วนที่หนึ่งซึ่งมีความยาว 3 เมตร เสาส่วนที่สองซึ่งมีความยาว 5 เมตร หัวเสา(Pier head) และคานรอง โดยมีลำดับขั้นการก่อสร้างตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.1โดยโครงการจำลองในงานวิจัยมีลักษณะเป็นเส้นทางตรงตลอดโครงการยาวตลอดโครงการซึ่งประกอบเป็นด้วยเสาตอม่อ 4 ต้น ได้แก่ A, B, C และ D โดยเสา A ก่อสร้างถึงขั้นของหัวเสา เสา Bและเสา C ก่อสร้างถึงส่วนที่สอง และเสา D ก่อสร้างถึงส่วนที่หนึ่งตามแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 โครงสร้างเสาตอม่อของโครงการในห้องปฏิบัติการ

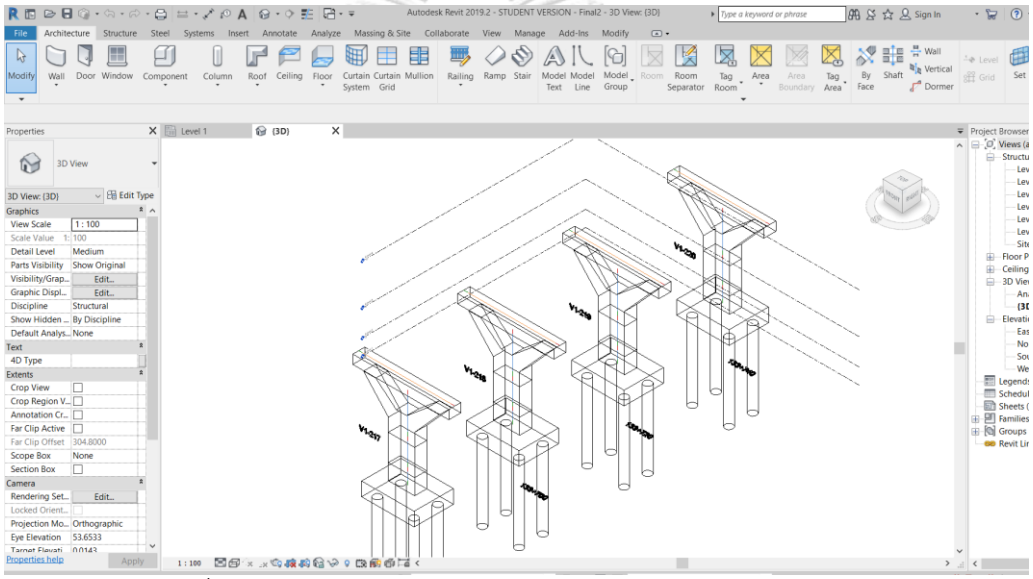
รูปที่ 4.2 ลักษณะของการก่อสร้างโครงการในห้องปฏิบัติการ

4.1.2 **ข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา**

งานวิจัยแบ่งประเภทของข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดเป็น 3 ข้อมูลหลักได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองสามมิติ, ข้อมูลแผนการทำงาน และข้อมูลวิดีโอการสำรวจโครงการ

1) แบบจำลองสามมิติ

แบบจำลองสามมิติจะนำไปใช้เพื่อผนวกรวมข้อมูลกับแผนการทำงานของโครงการเพื่อสร้างข้อมูลแบบจำลอง 4 มิติซึ่งสามารถแสดงสภาพของโครงการตามวันที่ต้องการตรวจสอบ แบบจำลองประกอบไปด้วย โครงสร้างเสา ตัวเลขสามมิติประจำเสา และตัวเลขสามมิติแสดงระยะของโครงการ โดยงานวิจัยเลือกใช้ Autodesk Revit ซอฟต์แวร์ดังกล่าวเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้ง่ายและสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการใช้งานอื่นได้



รูปที่ 4.3 แบบจำลองสามมิติของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ

2) แผนการทำงาน

แผนงานที่สร้างขึ้นสำหรับโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการมีระดับความละเอียดของแผนงานแสดงเฉพาะกิจกรรมก่อสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างเท่านั้น ในแต่ละกิจกรรมของแผนงานจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่สำคัญต่อการใช้ประกอบการติดตามความคืบหน้าประกอบไปด้วยข้อมูล ชื่องาน (Task Name), ระยะเวลาที่ใช้ (Duration), วันที่เริ่มทำงาน(Start date), วันที่เสร็จงาน (Finish date), งานที่ต้องเสร็จก่อน (Predecessor), ค่าใช้จ่าย (Cost) โดยงานวิจัยนี้เลือกการเขียนแผนงานผ่าน Microsoft Project ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถกำหนดวันและเวลาในการก่อสร้างรวมถึงสามารถกำหนดลำดับขั้นของการก่อสร้างและแสดงแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ได้โดยอัตโนมัติ

A1 หมายถึงงานก่อสร้างฐานรากของเสา A ซึ่งประกอบไปด้วย BP_A เสาเข็ม 4 เสา และ F_A ฐานเสา, A2 หมายถึงงานก่อสร้างเสาส่วนที่หนึ่งของเสาA, A3 หมายถึงงานก่อสร้างเสาส่วนที่สองของเสาA, A4 หมายถึงงานก่อสร้างหัวเสาA และ A5 หมายถึงงานก่อสร้างคานรองของเสา A

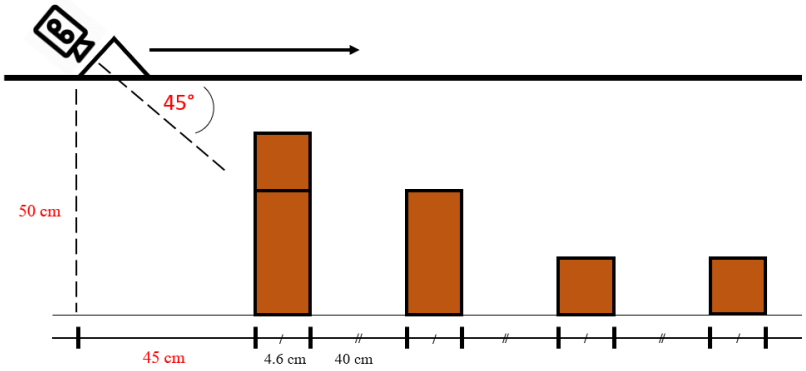
ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Cost
1		**A1**	**15 days**	**Sun 8/11/19**	**Sun 8/25/19**		**$55,000.00**
2		BP1_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00
3		BP2_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00
4		BP3_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00
5		BP4_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00
6		F_A	10 days	Fri 8/16/19	Sun 8/25/19	2,3,4,5	$15,000.00
7		A2	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$5,000.00
8		A3	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	7	$10,000.00
9		A4	21 days	Tue 9/10/19	Mon 9/30/19	8	$15,000.00
10		A5	18 days	Tue 10/1/19	Fri 10/18/19	9	$8,000.00
11		**B1**	**15 days**	**Mon 8/26/19**	**Mon 9/9/19**		**$55,000.00**
12		BP1_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00
13		BP2_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00
14		BP3_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00
15		BP4_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00
16		F_B	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	6,12,13,14,15	$15,000.00
17		B2	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	7,16	$5,000.00
18		B3	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	8,17	$10,000.00
19		B4	21 days	Tue 10/1/19	Mon 10/21/19	9,18	$15,000.00
20		B5	18 days	Tue 10/22/19	Fri 11/8/19	10,19	$8,000.00
21		**C1**	**15 days**	**Tue 9/10/19**	**Tue 9/24/19**		**$55,000.00**
22		BP1_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00
23		BP2_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00
24		BP3_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00
25		BP4_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00
26		F_C	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	16,22,23,24,25	$15,000.00
27		C2	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	17,26	$5,000.00
28		C3	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	18,27	$10,000.00
29		C4	21 days	Tue 10/22/19	Mon 11/11/19	19,28	$15,000.00
30		C5	18 days	Tue 11/12/19	Fri 11/29/19	20,29	$8,000.00
31		**D1**	**15 days**	**Wed 9/25/19**	**Wed 10/9/19**		**$80,000.00**
32		BP1_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00
33		BP2_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00
34		BP3_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00
35		BP4_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00
36		F_D	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	26,32,33,34,35	$40,000.00
37		D2	5 days	Thu 10/10/19	Mon 10/14/19	27,36	$5,000.00
38		D3	10 days	Tue 10/15/19	Thu 10/24/19	37,28	$10,000.00
39		D4	21 days	Tue 11/12/19	Mon 12/2/19	38,29	$15,000.00
40		D5	18 days	Tue 12/3/19	Fri 12/20/19	30,39	$8,000.00

รูปที่ 4.4 แผนงานก่อสร้างโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ

3) วิดีโอการสำรวจโครงการ

ในขั้นต้นงานวิจัยทำการจำลองการสำรวจโครงการโดยใช้อุปกรณ์พกพาวางลงบนลิ่มไม้สามเหลี่ยมมุม 45 องศาและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่บนแผ่นไม้ที่พาดผ่านแบบจำลองโครงการเสมือนการใช้งานโดรนในการสำรวจโครงการ

รูปที่ 4.5 ภาพจากมุมมองการสำรวจโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.6 การจำลองการสำรวจโครงการเสมือนการใช้งานโดรน

4.1.3 **การประยุกต์ใช้ข้อมูลและเทคโนโลยี**

การพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยต้องประกอบการประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อสร้างการจำลองข้อมูล 4 มิติซึ่งเกิดจากการรวมข้อมูลแบบจำลองสามมิติและแผนการทำงาน นอกจากนี้งานวิจัยเสนอการซ้อนทับข้อมูล 4 มิติดังกล่าวผ่านการใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม

1) หลักการสร้างแบบจำลองข้อมูล 4 มิติ

แบบจำลองสามมิติของโครงการใน Autodesk Revit ทุกชิ้นส่วนโครงสร้างจะมีการระบุรหัสประจำโครงสร้าง (element ID tag) โดยอัตโนมัติ ดังนั้นเพื่อการผนวกข้อมูลแผนงาน งานวิจัยเพิ่ม

ข้อมูลรหัสประจำโครงสร้างดังกล่าวลงในแผนงานใน Microsoft Project โดยรหัสประจำโครงสร้างต้องตรงกับกิจกรรมที่ก่อสร้างโครงสร้างนั้นภายในแผนงาน

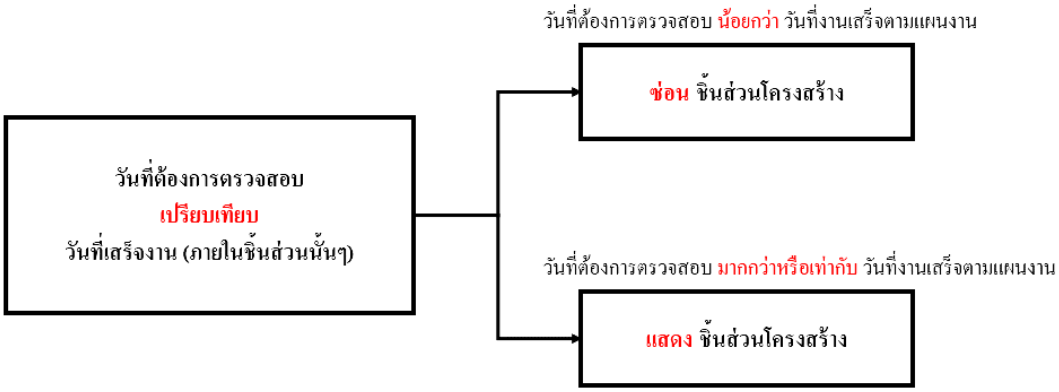
การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการตรวจสอบ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการเพิ่มข้อมูลภายในทุกกิจกรรมของแผนงานซึ่งข้อมูลนี้เป็นข้อมูลระยะเวลาที่เสร็จงานหลังเริ่มต้นโครงการ (Finish days) โดยเป็นข้อมูลที่คำนวณจาก วันที่เสร็จงานของกิจกรรมนั้นลบวันเริ่มต้นโครงการ (Finish date – Start date of the Project)

ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Cost	Finish days	Element ID
1		**A1**	**15 days**	**Sun 8/11/19**	**Sun 8/25/19**		**$55,000....**		
2		BP1_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000....	5	584066
3		BP2_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000....	5	584067
4		BP3_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000....	5	584068
5		BP4_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000....	5	584069
6		F_A	10 days	Fri 8/16/19	Sun 8/25/19	2,3,4,5	$15,000....	15	584046
7		A2	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$5,000.00	20	579750
8		A3	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	7	$10,000....	30	579697
9		A4	21 days	Tue 9/10/19	Mon 9/30/19	8	$15,000....	51	579642
10		A5	18 days	Tue 10/1/19	Fri 10/18/19	9	$8,000.00	69	584753
11		**B1**	**15 days**	**Mon 8/26/19**	**Mon 9/9/19**		**$55,000....**		
12		BP1_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000....	20	586268
13		BP2_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000....	20	586269
14		BP3_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000....	20	586270
15		BP4_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000....	20	586271
16		F_B	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	6,12,13,14,1!	$15,000....	30	586266
17		B2	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	7,16	$5,000.00	35	586264
18		B3	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	8,17	$10,000....	45	586262
19		B4	21 days	Tue 10/1/19	Mon 10/21/19	9,18	$15,000....	72	586260
20		B5	18 days	Tue 10/22/19	Fri 11/8/19	10,19	$8,000.00	90	586272
21		**C1**	**15 days**	**Tue 9/10/19**	**Tue 9/24/19**		**$55,000....**		
22		BP1_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000....	35	586344
23		BP2_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000....	35	586345
24		BP3_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000....	35	586346
25		BP4_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000....	35	586344
26		F_C	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	16,22,23,24,:	$15,000....	45	586342
27		C2	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	17,26	$5,000.00	50	586340
28		C3	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	18,27	$10,000....	60	586338
29		C4	21 days	Tue 10/22/19	Mon 11/11/19	19,28	$15,000....	93	586336
30		C5	18 days	Tue 11/12/19	Fri 11/29/19	20,29	$8,000.00	111	586348
31		**D1**	**15 days**	**Wed 9/25/19**	**Wed 10/9/19**		**$80,000....**		
32		BP1_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000....	50	586408
33		BP2_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000....	50	586409
34		BP3_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000....	50	586410
35		BP4_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000....	50	586408
36		F_D	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	26,32,33,34,:	$40,000....	60	586406
37		D2	5 days	Thu 10/10/19	Mon 10/14/19	27,36	$5,000.00	65	586404
38		D3	10 days	Tue 10/15/19	Thu 10/24/19	37,28	$10,000....	75	586402
39		D4	21 days	Tue 11/12/19	Mon 12/2/19	38,29	$15,000....	114	586400
40		D5	18 days	Tue 12/3/19	Fri 12/20/19	30,39	$8,000.00	132	586412

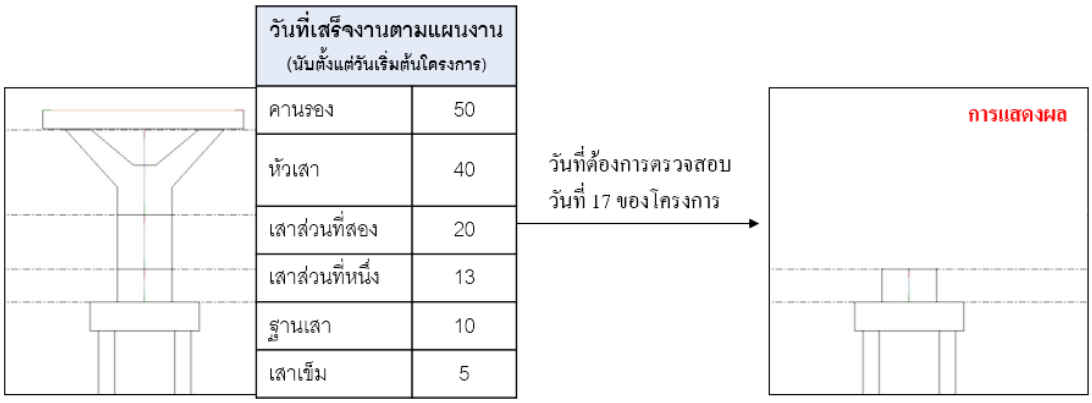
รูปที่ 4.7 ข้อมูลแผนงานที่เพิ่มขึ้นในงานวิจัย

ข้อมูลซึ่งถูกเพิ่มในแผนงานจะถูกนำมาใช้ในขั้นของการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยเชื่อมประสานข้อมูลระหว่างโครงสร้างในแบบจำลองและแผนการทำงานผ่านการจับคู่ด้วยรหัสประจำโครงสร้าง และสร้างตัวแปรวันที่ต้องการตรวจสอบของโครงการ (Monitoring Date) และนำค่าตัว

แปรนี้ไปเปรียบเทียบค่ากับ วันที่เสร็จงานของกิจกรรมนั้นๆหลังเริ่มต้นโครงการ ในทุกๆชิ้นโครงสร้าง โดยในกรณีที่ค่าวันที่ตรวจสอบมีค่า น้อยกว่า วันที่เสร็จงาน แบบจำลองสามมิติจะทำการปิดการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น และในกรณีกลับกัน หากค่าวันที่ตรวจสอบมีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ วันที่เสร็จงาน แบบจำลองสามมิติจะทำการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น



รูปที่ 4.8 หลักการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างตามวันที่ต้องการตรวจสอบ



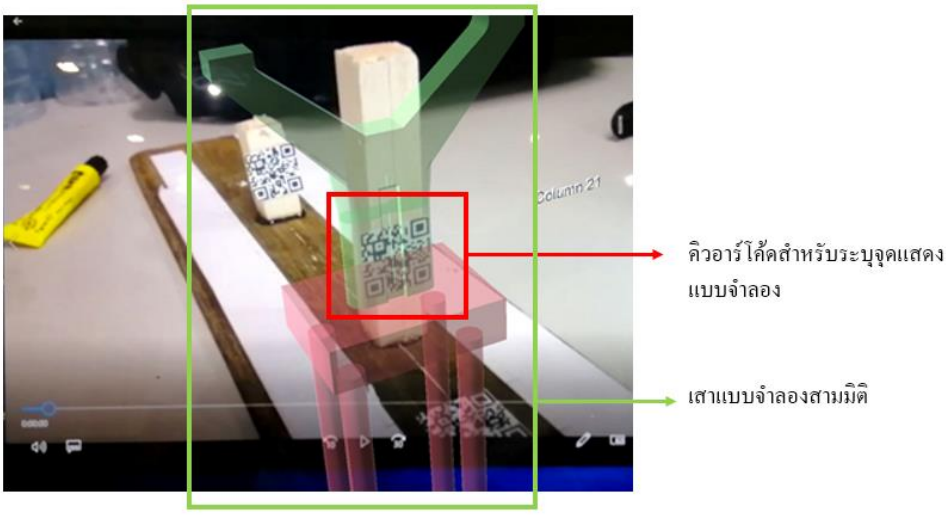
รูปที่ 4.9 ภาพประกอบการอธิบายหลักการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างในงานวิจัย

2) การประยุกต์เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality)

เทคโนโลยี Augmented Reality (AR) ถูกนำมาใช้สำหรับการแสดงข้อมูลทางดิจิทัลซ้อนทับกับสิ่งแวดล้อมจริง โดยการใช้ AR เพื่อแสดงซ้อนทับระหว่างวัตถุทางดิจิทัลและโลกจริงนั้น สามารถทำได้หลายวิธีโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักด้วยกัน ได้แก่ 1.การใช้เครื่องหมายเพื่อระบุจุดที่ต้องการแสดง (Marker AR) ยกตัวอย่างเช่น การใช้คิวอาร์โค้ดหรือสัญลักษณ์ประกอบที่มีความชัดเจน (QR code) 2.การไม่ใช้เครื่องหมายเพื่อระบุจุดแสดง (Markerless AR) อาทิเช่น การใช้

ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด (GPS location) การใช้การจดจำรูปแบบ (Object Recognition) เป็นต้น

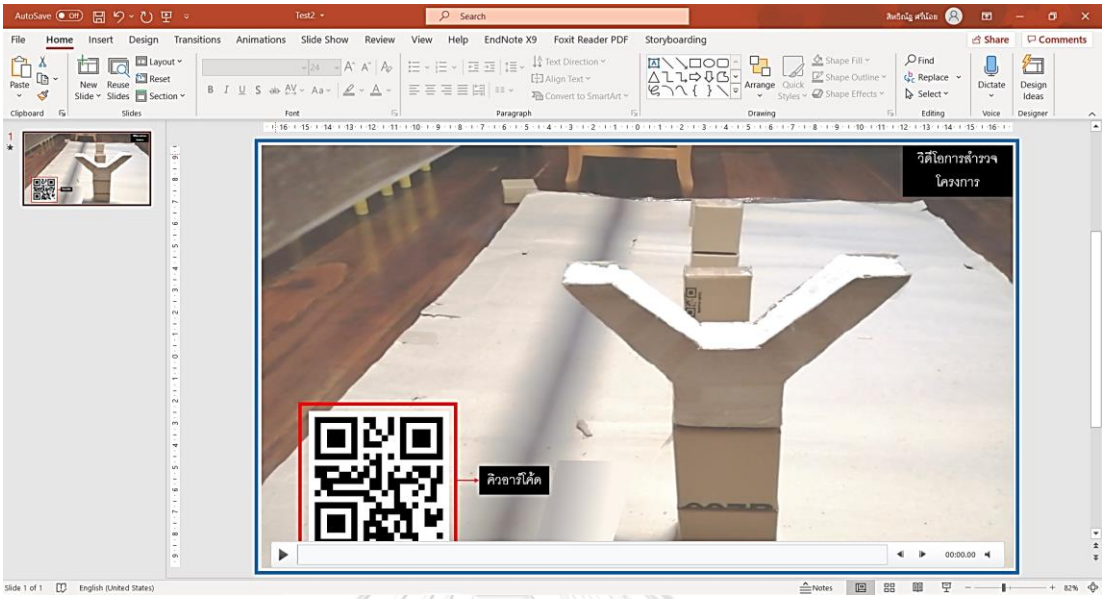
ทว่าจากการศึกษาและทดสอบเบื้องต้นพบว่า Markerless AR ยังคงยากต่อการประยุกต์ใช้กับโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งซึ่งมีขนาดโครงการที่ใหญ่ การใช้วิธีระบุจุดผ่านการใช้ละติจูดและลองจิจูด ไม่สามารถแสดงแบบจำลองได้ตรงตามพื้นที่เป้าหมายและมีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ด้วยลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งซึ่งแต่ละช่วงของโครงการมีการก่อสร้างและกิจกรรมการก่อสร้างที่คล้ายกัน ทำให้การใช้วิธีระบุจุดผ่านการจดจำรูปแบบ (Object Recognition) ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การประยุกต์เทคโนโลยี Augmented Reality ด้วยการใช้การระบุจุดแสดงแบบจำลองข้อมูลสามมิติผ่านการใช้คิวอาร์โค้ดซึ่งประยุกต์ใช้ได้ง่ายและสามารถแสดงแบบจำลองสามมิติได้ตรงตามจุดเป้าหมายที่ระบุ โดยการใช้ซอฟต์แวร์ Vuforia Engine เพื่อสร้างคิวอาร์โค้ดสำหรับการใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.10 การทดสอบการใช้คิวอาร์โค้ดสำหรับแสดงแบบจำลองสามมิติในงานวิจัย

จากการวิเคราะห์การใช้งานคิวร์อาร์โค้ดดังในรูปที่ 4.10 พบว่าการประยุกต์ในรูปแบบดังกล่าวไม่สามารถนำไปปรับใช้ในงานก่อสร้างจริง เนื่องจากการใช้วิธีการแสดงเป้าหมายโดยระบุจุดนั้นแอปพลิเคชันจำเป็นต้องตรวจจับคิวอาร์โค้ดให้ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นหากต้องการนำไปปรับใช้กับงานจริง คิวอาร์โค้ดจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ ซึ่งแนวคิดจะส่งผลให้การปรับใช้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายและการดำเนินการที่ไม่จำเป็น ดังนั้นงานวิจัยได้เปลี่ยนวิธีการปรับใช้คิวอาร์โค้ด โดยการนำคิวอาร์โค้ดวางบน

วิดีโอซึ่งเป็นวิดีโอจากการใช้โดรนเพื่อสำรวจโครงการและงานวิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft PowerPoint สำหรับการเล่นวิดีโอและวางคิวอาร์โค้ดบนวิดีโอดังกล่าว

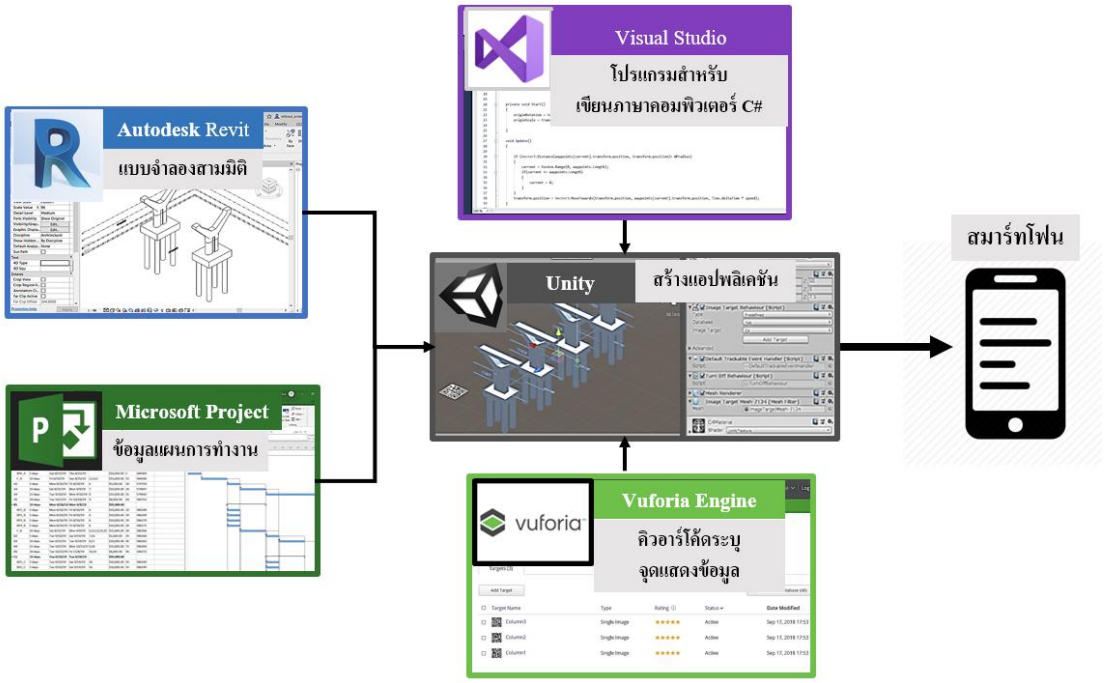


รูปที่ 4.11 การวางคิวอาร์โค้ดลงบนวิดีโอการสำรวจโครงการในห้องปฏิบัติการ

4.1.4 **การพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์**

แอปพลิเคชันประยุกต์ในงานวิจัยเป็นส่วนของการรวบรวมข้อมูลและเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อสร้างแอปพลิเคชันใช้งานร่วมกับวิดีโอในการสำรวจโครงการจากการใช้โดรน งานวิจัยเลือกใช้การพัฒนาแอปพลิเคชันลงบนสมาร์ทโฟน เนื่องจากสามารถปรับและประยุกต์กับงานด้านอื่นได้ง่าย โดยงานวิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Unity และ Visual Studio สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ ซอฟต์แวร์ดังกล่าวใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันผ่านการใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ โดยภาษาที่ใช้เป็นหลักมีอยู่สองภาษาได้แก่ ภาษา C# และ ภาษา JavaScript งานวิจัยนี้เลือกใช้ภาษา C# เป็นหลัก เนื่องจากเป็นภาษาที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถใช้ร่วมกับภาษาอื่นๆได้ โดยแอปพลิเคชันที่ถูกสร้างผ่าน Unity สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานยกตัวอย่าง เช่น สร้างขึ้นเพื่อใช้งานในสมาร์ทโฟน, ใช้งานในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

หลักแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันประกอบด้วยการนำข้อมูลแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรม Autodesk Revit และข้อมูลแผนการทำงานจากโปรแกรม Microsoft Project มาผสานรวมเป็นข้อมูลแบบจำลองสี่มิติ ใช้โปรแกรม Vuforia Engine เพื่อสร้างคิวอาร์โค้ดสำหรับการระบุพื้นที่แสดงข้อมูลดังกล่าว และรวมประยุกต์ทุกข้อมูลในโปรแกรม Unity ประกอบกับการใช้โปรแกรมเสริม Visual Studio เพื่อพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน (Smartphone) เพื่อใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.12 การใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ในระบบ

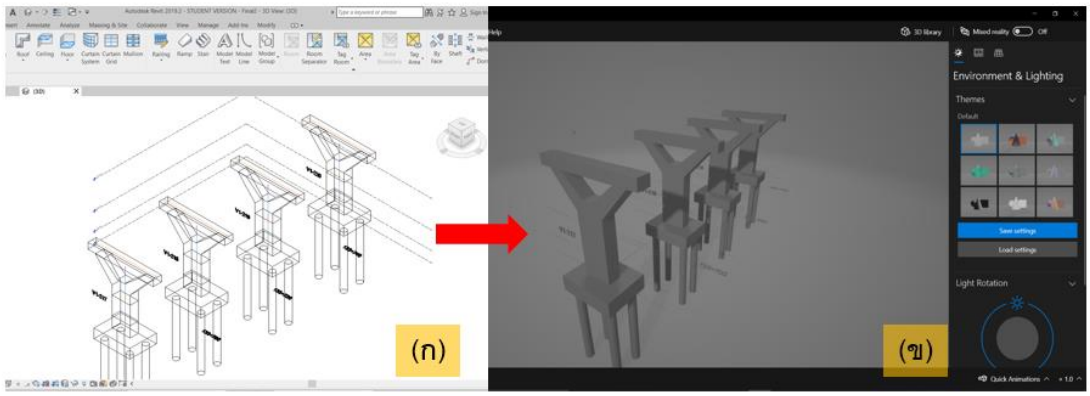
ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก

1) การนำเข้าข้อมูล
2) การผสานข้อมูล
3) การปรับข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในระบบ

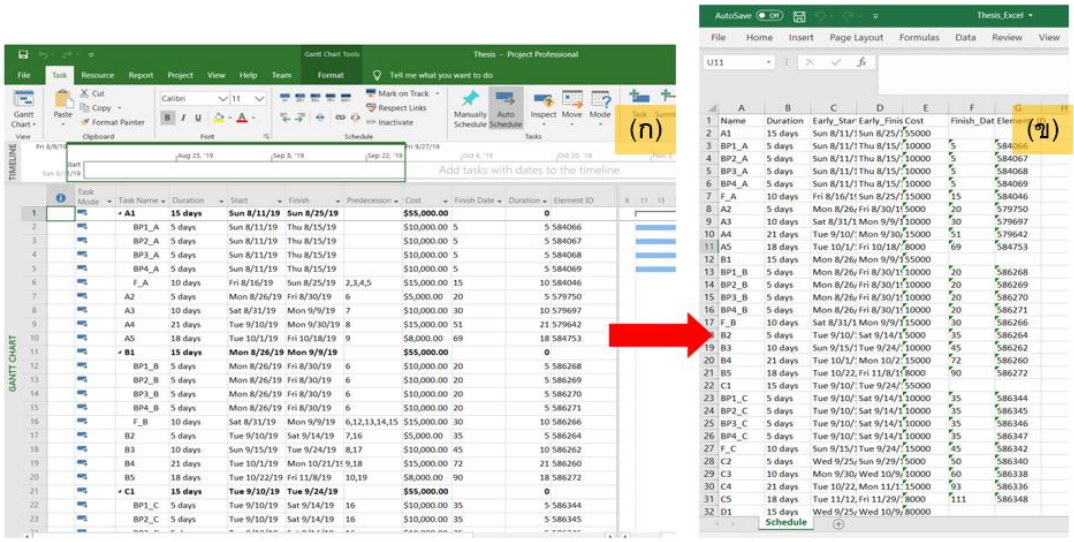
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.4.1 การนำเข้าข้อมูล

ข้อมูลที่สร้างไว้ในขั้นต้นต้องมีการแปลงสกุลไฟล์ หรือการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์ภายใน Unity โดยข้อมูลแบบจำลองสามมิติใน Autodesk Revit ต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลเป็นวัตถุจำลองสามมิติ (FBX) นอกจากนี้ข้อมูลแผนงานในรูปของ Microsoft Project ต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลเป็นรูปแบบข้อมูลไฟล์ข้อความ (Text file) เพื่อนำมาใช้ประกอบ โดยข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จะประกอบไปด้วยข้อมูลของกิจกรรมเท่านั้น ไม่มีการแสดงแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) งานวิจัยเลือกใช้การแสดงข้อมูลแผนงานในรูปของ Microsoft Excel



รูปที่ 4.13 แบบจำลองสามมิติภายใน (ก) Autodesk Revit (ข) รูปแบบวัตถุจำลองสามมิติ FBX



รูปที่ 4.14 ข้อมูลแผนงานในรูปแบบ (ก) Microsoft Project (ข) Microsoft Excel

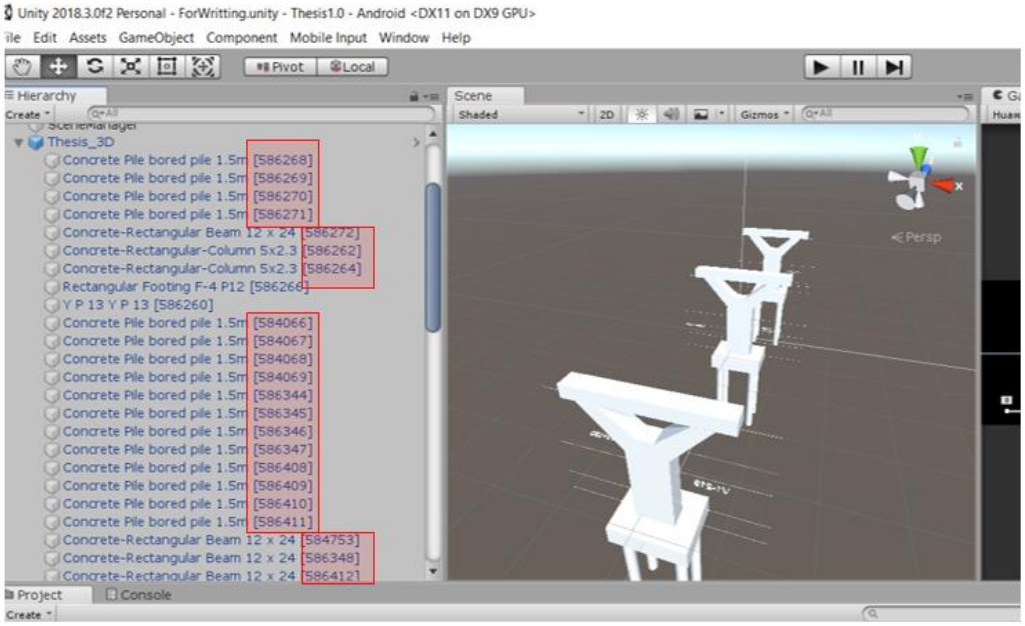
Chulalongkorn University

4.1.4.2 การผสานข้อมูล

ข้อมูลแบบจำลองและแผนการทำงานภายใน Unity จะทำการเชื่อมประสานข้อมูลระหว่างโครงสร้างในแบบจำลองและแผนการทำงานผ่านการจับคู่ด้วยรหัสประจำโครงสร้าง ดังนั้นในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างของแบบจำลองจะแนบไว้ด้วยข้อมูลแผนงานที่ตรงตามกับรหัสประจำโครงสร้างนั้นๆ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Visual Studio เพื่อเขียนภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการเชื่อมประสานข้อมูลระหว่างข้อมูลวัตถุจำลองสามมิติ และข้อมูลแผนงานในรูปของ Microsoft Excel

แบบจำลองที่ผ่านการแปลงข้อมูลเป็นวัตถุสามมิติจาก Autodesk Revit จะมีการแนบรหัสประจำโครงสร้างในส่วนท้ายของชื่อโครงสร้างโดยอัตโนมัติ ดังนั้นงานวิจัยใช้ภาษา C# เพื่อทำการดึงข้อมูลตัวเลขดังกล่าวมาเชื่อมกับตัวเลขภายในแผนงานซึ่งมีการใส่ตัวเลขรหัสประจำโครงสร้างไว้อยู่

ก่อนแล้ว นอกจากนี้งานวิจัยใช้ภาษา C# เพื่อการแสดงหลักการสร้างข้อมูลแบบจำลอง 4 มิติหรือการแสดงสภาพของงานก่อสร้างตามแผนงานดังหลักการที่ได้อธิบายในบทที่ 4.1.3 การประยุกต์ใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีเพื่อสร้างข้อมูลแบบจำลอง 4 มิติ



รูปที่ 4.15 ชื่อโครงสร้างของแบบจำลองสามมิติซึ่งมีการแนบรหัสประโครงสร้าง

```
public class DataImport : MonoBehaviour
{

    public Schedule schedule;

    void Awake()
    {

        foreach(ScheduleData row in schedule.dataArray)
        {
            foreach (Transform child in gameObject.transform)
            {

                string[] firstSplit = child.gameObject.name.Split('[');
                if (firstSplit.Length > 1)
                {
                    string[] secondSplit = firstSplit[1].Split(']');
                    if (secondSplit[0] == row.Element_ID)
                    {
                        element _element = child.gameObject.GetComponent<element>();
                        _element.taskfinish = row.Finish_Date;
                    }
                }
            }
```

ตรวจสอบข้อมูลชื่อโครงสร้างทั้งหมด
↓
ดึงข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องหมาย []
↓
นำตัวเลขภายใน [] จับคู่กับข้อมูลแผนงาน

รูปที่ 4.16 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการดึงข้อมูลรหัสประจำโครงสร้าง

```
void Update()
{

}

public void day_change(float day)
{
    Debug.Log(day);
    day_text.text = day.ToString();
    foreach (Transform child in gameObject.transform)
    {
        element ele = child.gameObject.GetComponent<element>();

        if (ele.taskfinish <= day)
        {
            MeshRenderer meshRenderer = child.gameObject.GetComponent<MeshRenderer>();
            if (meshRenderer != null)
            {
                meshRenderer.enabled = true;
            }
        }
        else
        {
            MeshRenderer meshRenderer = child.gameObject.GetComponent<MeshRenderer>();
            if (meshRenderer != null)
            {
                meshRenderer.enabled = false;
            }
        }
    }
```

รูปที่ 4.17ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการแสดงสภาพงานก่อสร้างตามแผนงาน

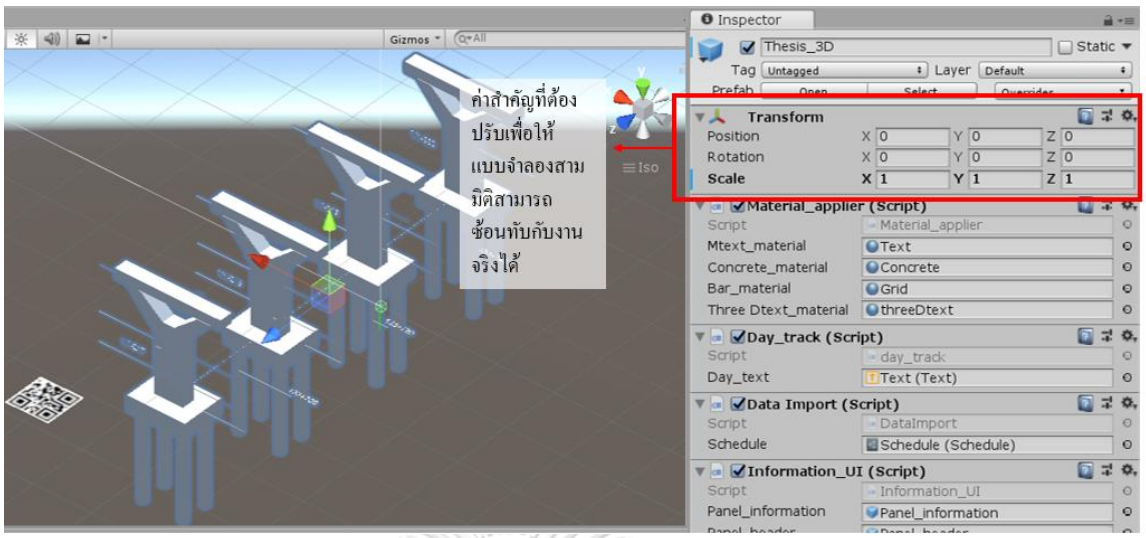
4.1.4.3 การปรับข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในระบบ

ขั้นตอนการปรับข้อมูลเป็นขั้นตอนที่ปรับแต่งรายละเอียดการใช้งานข้อมูลที่ผ่านการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูล เพื่อนำไปใช้สร้างเป็นแอปพลิเคชันสำหรับใช้งานร่วมกับวิดีโอการสำรวจของโครงการ ประกอบไปด้วย 1.การปรับขนาด มุม และระยะในการแสดงข้อมูล 2.การปรับการเคลื่อนที่ข้อมูล 3.การปรับการใช้งานเสริมของแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) การปรับขนาด มุม และระยะในการแสดงข้อมูล

การแสดงข้อมูลแบบจำลองความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality Model) ภายในแอปพลิเคชันจะมีการแสดง ขนาด มุม และระยะ แปรผันตรงกับขนาดของคิวอาร์โค้ด ดังนั้นการนำคิวอาร์โค้ดซึ่งสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Vuforia Engine มากำหนดจุดสำหรับการระบุพื้นที่แสดงแบบจำลองสามมิติของโครงการ โดยขนาดและมาตราส่วนของแบบจำลองรวมถึงระยะและมุมที่จะแสดงแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับการจัดวางคิวอาร์โค้ดในโปรแกรม Unity ซึ่งผู้วิจัยต้องทำการปรับค่าสำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.18



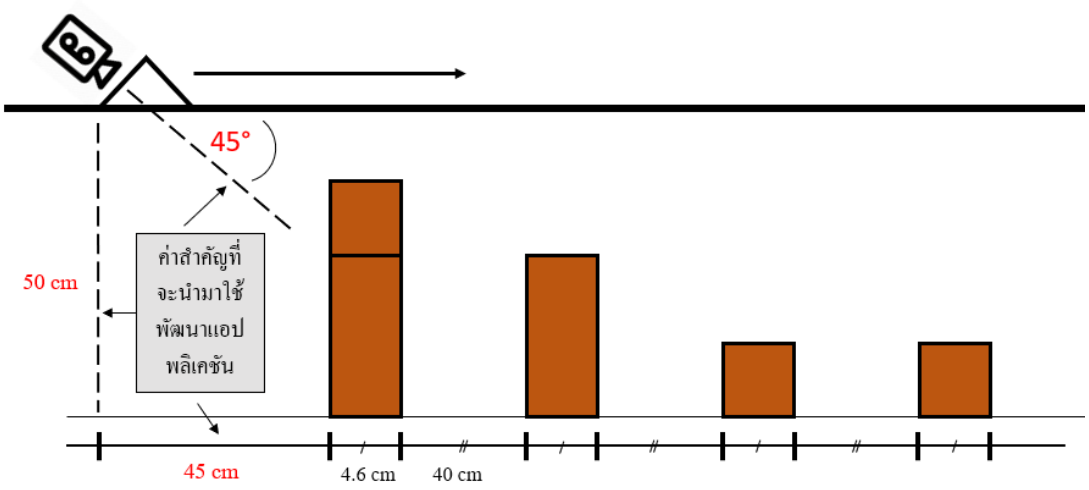
รูปที่ 4.18 ค่าสำคัญในโปรแกรม Unity ที่ต้องปรับสำหรับการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน

การปรับค่าสำคัญที่กล่าวในข้างต้นต้องปรับค่าหน่วยให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานในระบบ งานวิจัยดำเนินการวัดเทียบหน่วยค่าสำคัญเพื่อใช้ในระบบการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างโครงการในห้องปฏิบัติการดังนี้

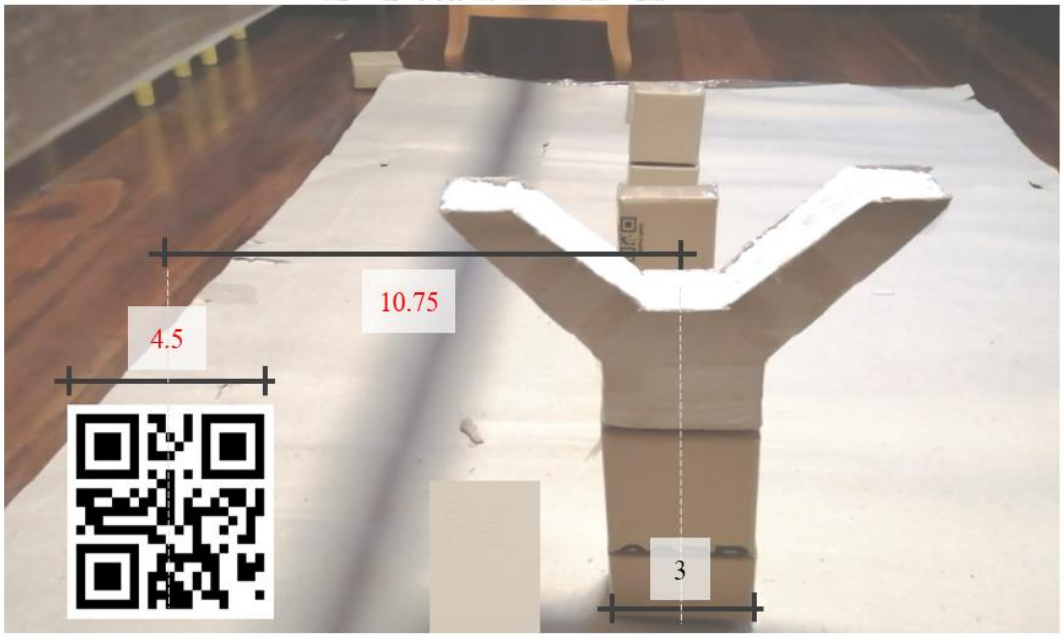
หน่วยหรือมาตราวัดสำหรับค่าสำคัญในโปรแกรม Unity สามารถเปรียบเทียบกับหน่วยความยาวใน Autodesk Revit ได้ดังนี้ 1 หน่วย Unity จะเท่ากับ 1 เมตร Autodesk Revit และเพื่อปรับใช้กับการทดสอบในงานวิจัย ต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างหน่วยความยาวใน Autodesk Revit และหน่วยความยาวจริงด้วย ซึ่งแบบจำลองกล่องกระดาษในงานวิจัยใช้มาตราส่วน 2 เซนติเมตรเท่ากับ 1 เมตรใน Autodesk Revit และเพื่อปรับขนาดของคิวอาร์โค้ดที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันจึงต้องมีการเปรียบเทียบค่ามาตราวัดระหว่างวิดีโอผ่านการวัดความยาวของเสาภายในวิดีโอ และความยาวของเสาจริงโดยสรุปหน่วยสำคัญได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 มาตราหน่วยเทียบสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันในงานวิจัย

Unity	Autodesk Revit	มาตราวัดจริง	วิดีโอ
1 หน่วย	1 เมตร	2 เซนติเมตร	$\frac{3}{5}$ หน่วย



รูปที่ 4.19 ค่าสำคัญที่ต้องบันทึกก่อนเริ่มบันทึกวิดีโอการจำลองการสำรวจโครงการ

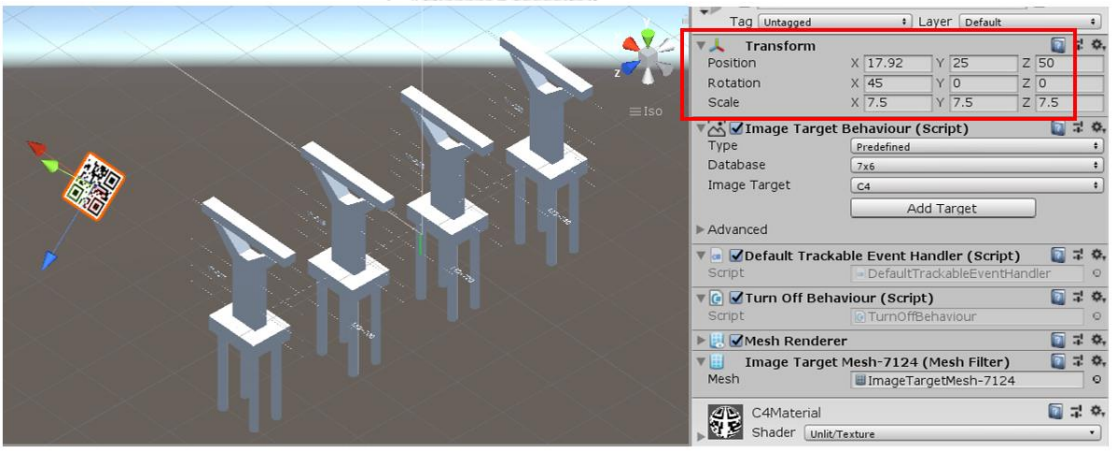


รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบขนาดคิวอาร์โค้ดเพื่อนำไปปรับค่าสำคัญในแอปพลิเคชัน

ค่าที่วัดได้ทั้งหมด(ยกเว้นมุมกล้องที่ใช้)ต้องปรับเป็นหน่วยในโปรแกรม Unity และทำการปรับค่าในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อให้สามารถใช้งานในระบบโดยต้องแสดงซ้อนทับกับโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการได้ งานวิจัยสรุปค่าที่สำคัญที่ต้องปรับใช้สำหรับระบบการติดตามความคืบหน้างานก่อสร้างจำลองในห้องปฏิบัติการได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยแถบสีฟ้าแสดงค่าที่วัดได้ และแถบสีเหลืองแสดงค่าที่ต้องนำไปปรับใช้ในการพัฒนา

ตารางที่ 4.2 การปรับค่าในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อนำไปใช้ในระบบการติดตามงานก่อสร้างจำลองในห้องปฏิบัติการ

Autodesk Revit	มาตราวัดจริง		วิดีโอ		Unity
1 เมตร	2 เซนติเมตร		$\frac{3}{5}$ หน่วย		1 หน่วย
-	ความสูงในการถ่าย	50 เซนติเมตร	-		25 หน่วย
-	ระยะเริ่มถ่ายกับเสาแรก	45 เซนติเมตร	-		22.5 หน่วย
-	-		ความกว้างของคิวอาร์โค้ด	4.5 หน่วย	7.5 หน่วย
-	-		ระยะห่างระหว่างคิวอาร์โค้ดกับกึ่งกลางเสา	10.75 หน่วย	17.92 หน่วย



รูปที่ 4.21 การปรับค่าขนาด มุม และตำแหน่งของคิวอาร์โค้ดในโปรแกรม Unity

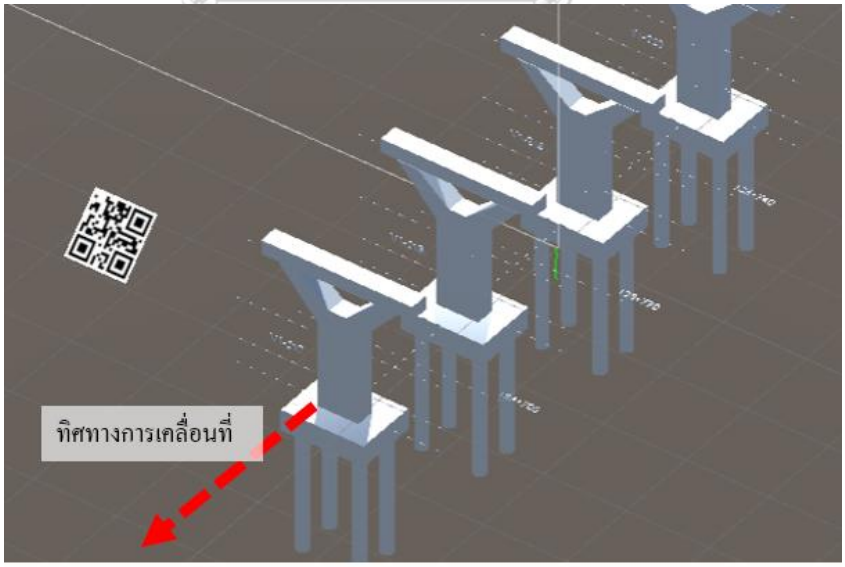
โดยในงานวิจัยนี้ได้ปรับให้ค่าสำคัญของแบบจำลองสามมิติอยู่ที่ตำแหน่ง (0,0,0) และขนาดเท่ากับ 1 ทำให้การปรับค่าสำคัญของคิวอาร์โค้ดสามารถนำค่าจากตารางที่ 3 มาใช้ได้ทันที แต่ในกรณีค่าตำแหน่งในแกน z ของคิวอาร์โค้ดเท่ากับ 50 เนื่องจากตำแหน่งจุดศูนย์กลาง (0,0,0) ของแบบจำลองสามมิติอยู่ที่จุดกึ่งกลางของโครงการ ส่งผลให้ค่าที่ใช้ในแกน z ต้องบวกเพิ่มจากด้านหน้าสุดของเสามา 22.5 หน่วยแทน

2) การปรับการเคลื่อนที่ของข้อมูล

ขั้นตอนการปรับการเคลื่อนข้อมูลเป็นการปรับข้อมูลภายในแอปพลิเคชันให้สามารถเคลื่อนที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการ เพื่อให้ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันสามารถสังเกตเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามแผนงานและสภาพงานตามจริงได้ตลอดการสำรวจโครงการ

ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิตินั้นถูกพัฒนาผ่านการใช้โปรแกรม Visual Studio โดยหน่วยความเร็วในโปรแกรมจะใช้เป็นหน่วยเฉพาะสำหรับภาษาคอมพิวเตอร์ซึ่งจากการทดสอบในงานวิจัยพบว่าสามารถเปรียบเทียบกับหน่วยในโปรแกรม Unity ได้ดังนี้ 1 หน่วยความเร็วใน Visual Studio จะเท่ากับ 1 หน่วยต่อวินาทีในโปรแกรม Unity

นอกจากนี้โปรแกรม Visual Studio ถูกใช้สำหรับการกำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติเช่นกัน เพื่อให้แบบจำลองสามมิติสามารถแสดงโครงสร้างได้ตรงโครงสร้างภายใต้การเคลื่อนที่ของการสำรวจการก่อสร้างภายในวิดีโอ โดยทิศทางการเคลื่อนที่นั้นสามารถกำหนดได้โดยอ้างอิงจากความยาวของเส้นทางในการสำรวจโครงการ สำหรับในขั้นของการพัฒนาแอปพลิเคชันเบื้องต้น แบบจำลองของโครงการเป็นแบบจำลองระยะสั้นและทางตรงเท่านั้น ทำให้การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตลอดโครงการเช่นกัน



รูปที่ 4.22 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในแอปพลิเคชันเพื่อให้สอดคล้องกับวิดีโอ

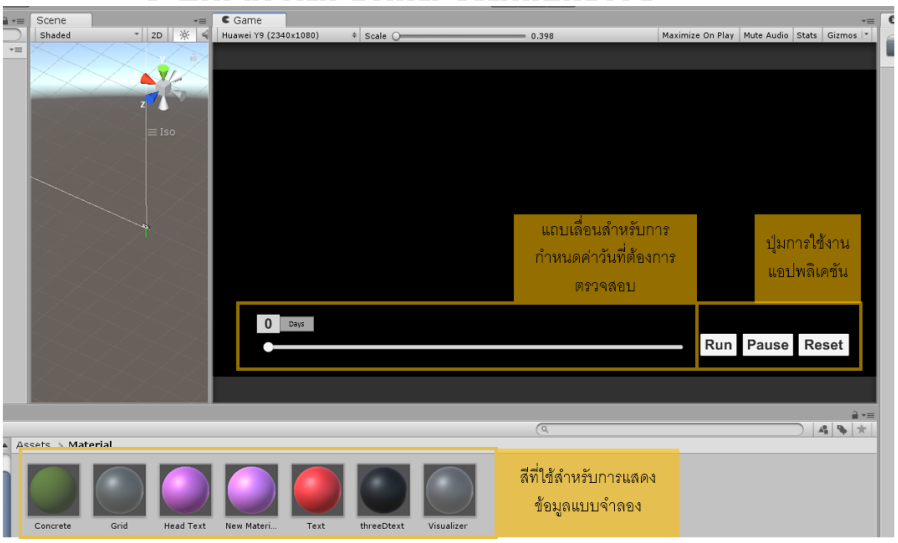
```
private void Start()
{
    originRotation = transform.localEulerAngles;
    originScale = transform.localScale.x;

}

void Update()
{

    if (Vector3.Distance(waypoints[current].transform.position, transform.position)< WPradius)
    {
        current = Random.Range(0, waypoints.Length);
        if(current >= waypoints.Length)
        {
            current = 0;
        }
    }
    transform.position = Vector3.MoveTowards(transform.position, waypoints[current].transform.position, Time.deltaTime * speed);
}

public void changeRun()
{
    speed =1.5F;
}
```

รูปที่ 4.23 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในงานวิจัย

3) การปรับการใช้งานเสริมของแอปพลิเคชัน

งานวิจัยพัฒนาแอปพลิเคชันเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกับวิดีโอการสำรวจโครงการได้สะดวกมากขึ้น แถบเลื่อนในด้านล่างของหน้าจอแอปพลิเคชันเป็นแถบเลื่อนสำหรับการแสดงตัวเลขของวันที่ต้องการตรวจสอบ (Monitoring date) เพื่อแสดงสภาพของโครงสร้างตามแผนงาน งานวิจัยปรับแถบเลื่อนให้สามารถเลื่อนภายในช่วงตัวเลข 0 – 132 วันเริ่มต้นงานก่อสร้างถึงวันสุดท้ายของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ สีสำหรับการแสดงแบบจำลอง งานวิจัยเลือกใช้สีเขียวใสเพื่อให้การแสดงซ้อนทับระหว่างแบบจำลองและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการ สามารถแสดงความแตกต่างหรือความเหมือนกันได้อย่างชัดเจน ปุ่มควบคุมการใช้งานแอปพลิเคชันซึ่งประกอบไปด้วยปุ่มสำหรับการเริ่มทำงาน (RUN) ปุ่มสำหรับการหยุดทำงาน (PAUSE) และปุ่มสำหรับการปิดการงานและเริ่มใหม่ (RESET)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.24 หน้าจอแอปพลิเคชันประยุกต์ในขั้นของการพัฒนา

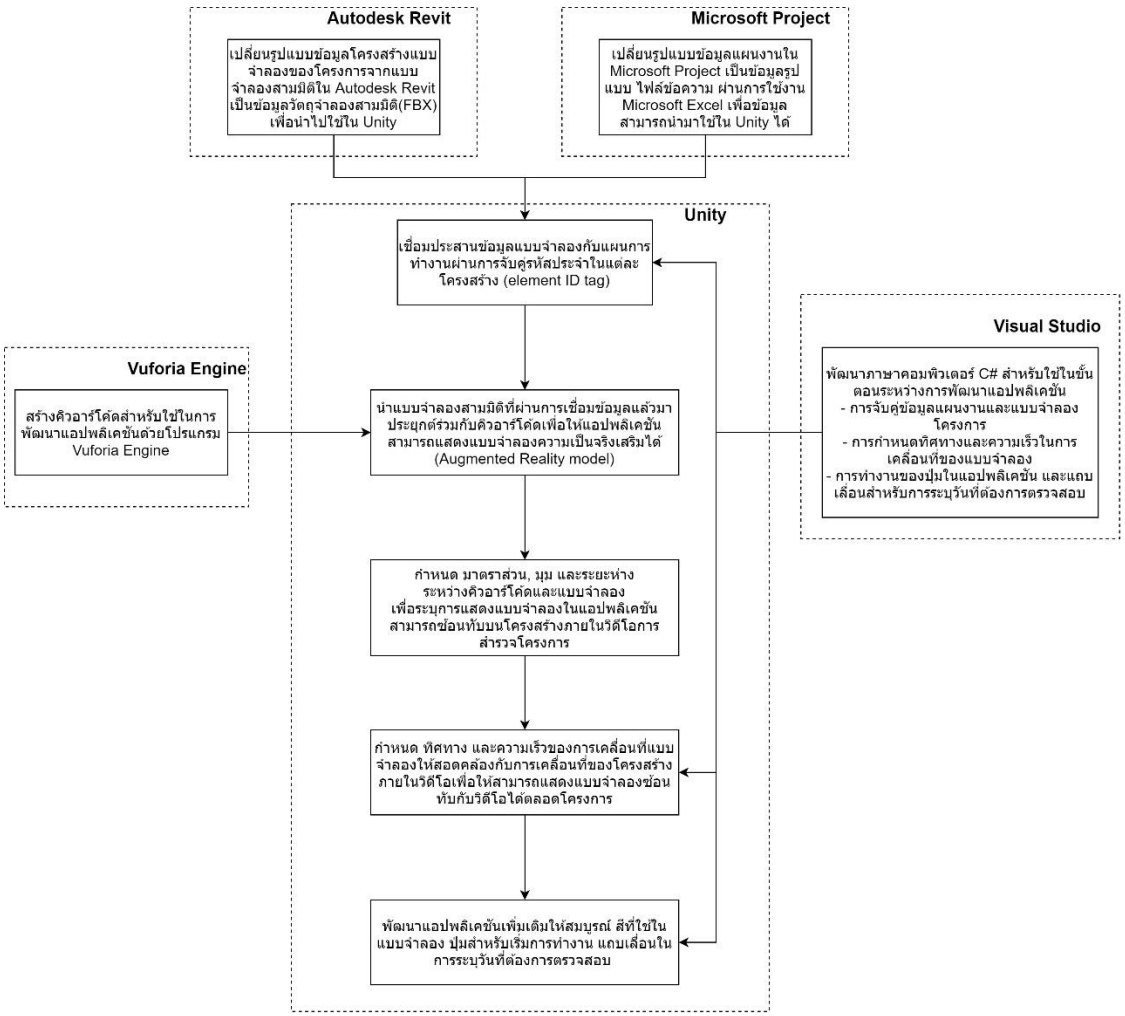
นอกจากนี้เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถนำไปประยุกต์ใช้การติดตามความคืบหน้าได้เพิ่มเติม นอกจากการสังเกตความแตกต่างระหว่างแบบจำลองตามแผนงานภายในแอปพลิเคชันและโครงสร้างจริงในวิดีโอ งานวิจัยพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถแสดงข้อมูลจากการดึงข้อมูลแผนงานในแต่ละโครงสร้างได้ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูล ชื่อกิจกรรมการก่อสร้างโครงสร้าง (Name), ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง (Duration), วันที่เริ่มก่อสร้าง (Early start date), วันเสร็จสิ้นงานก่อสร้าง(Early finish date), ค่าใช้จ่าย (Cost), วันเสร็จงานโดยเริ่มนับตั้งแต่วันเริ่มโครงการ (Finish date) และรหัสประจำโครงสร้างดังกล่าว (Element ID)

รูปที่ 4.25 รูปแบบการแสดงข้อมูลโครงสร้างจากการดึงข้อมูลแผนงาน

ดึงข้อมูลแผนงานในโครงสร้างตามรหัสประจำโครงสร้าง
↓
แสดงข้อมูลแผนงานตามที่กำหนด

```
void OnMouseDown()
{
    Debug.Log(gameObject.name);
    string[] firstSplit = gameObject.name.Split('[');
    if (firstSplit.Length > 1)
    {
        string[] secondSplit = firstSplit[1].Split(']');

        foreach (ScheduleData row in schedule.dataArray)
        {
            if (secondSplit[0] == row.Element_ID)
            {
                Debug.Log(row.Name);
                information_UI.Show();
                GameObject.Find("Name_UI").GetComponent<Text>().text = row.Name;
                GameObject.Find("Duration_UI").GetComponent<Text>().text = row.Duration;
                GameObject.Find("Early start_UI").GetComponent<Text>().text = row.Early_Start;
                GameObject.Find("Early finish_UI").GetComponent<Text>().text = row.Early_Finish;
                GameObject.Find("Cost_UI").GetComponent<Text>().text = row.Cost.ToString();
                GameObject.Find("Finish date_UI").GetComponent<Text>().text = row.Finish_Date.ToString();
                GameObject.Find("Element ID_UI").GetComponent<Text>().text = row.Element_ID;
            }
        }
    }
}
```

รูปที่ 4.26 ภาษาคอมพิวเตอร์ C# สำหรับการดึงข้อมูลแผนงานเพื่อแสดงในแอปพลิเคชัน

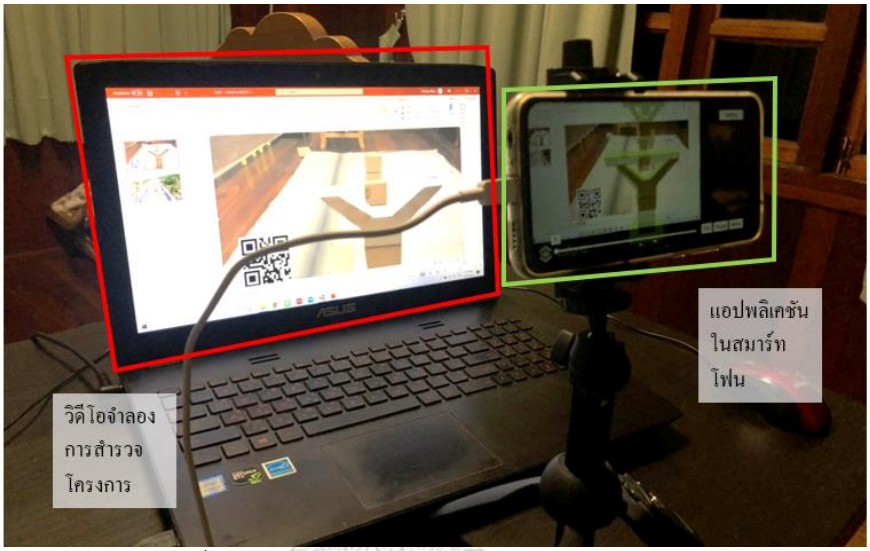


รูปที่ 4.27 แผนภาพสรุปขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน

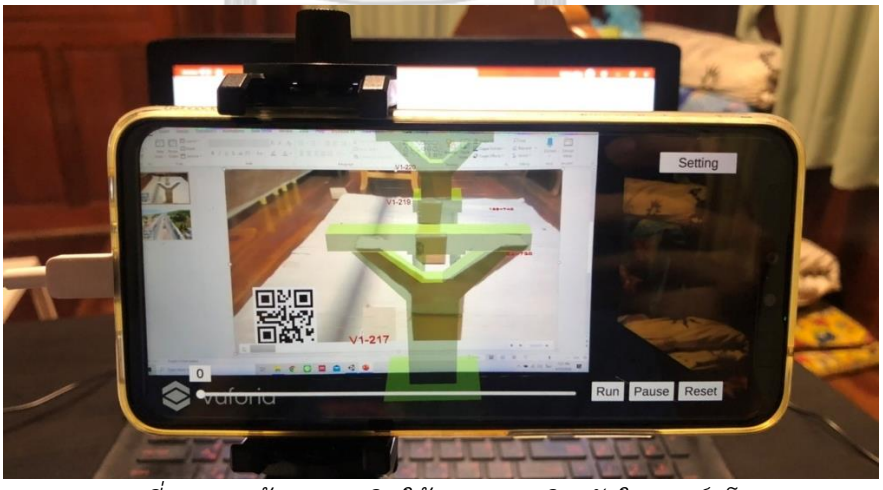
4.2 การพิสูจน์กรอบแนวคิดในการใช้งานระบบ

บทนี้กล่าวถึงการพิสูจน์กรอบแนวคิดการใช้งานระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับงานก่อสร้างโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ ผ่านการเปิดใช้งานแอปพลิเคชันประยุกต์ในสมาร์ทโฟน โดยกล้องของสมาร์ทโฟนต้องหันเข้าหาวิดีโอการสำรวจโครงการซึ่งมีคิวอาร์โค้ดประกอบ

งานวิจัยแบ่งการพิสูจน์ดังกล่าวออกเป็น การพิสูจน์ด้านการแสดงผล และการพิสูจน์ด้านการประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามความคืบหน้า



รูปที่ 4.28 การพิสูจน์กรอบแนวคิดการใช้งานระบบ



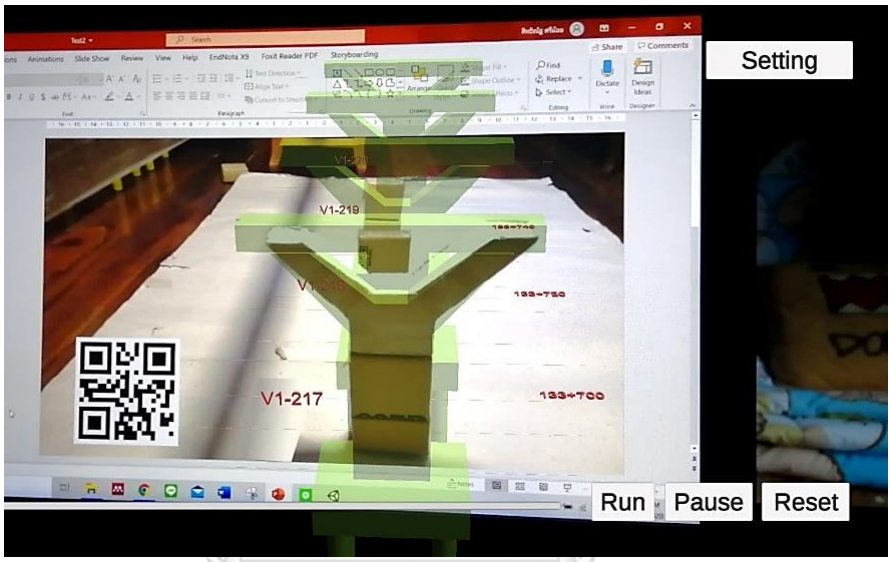
รูปที่ 4.29 หน้าจอการเปิดใช้งานแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน

4.2.1 **การแสดงผล**

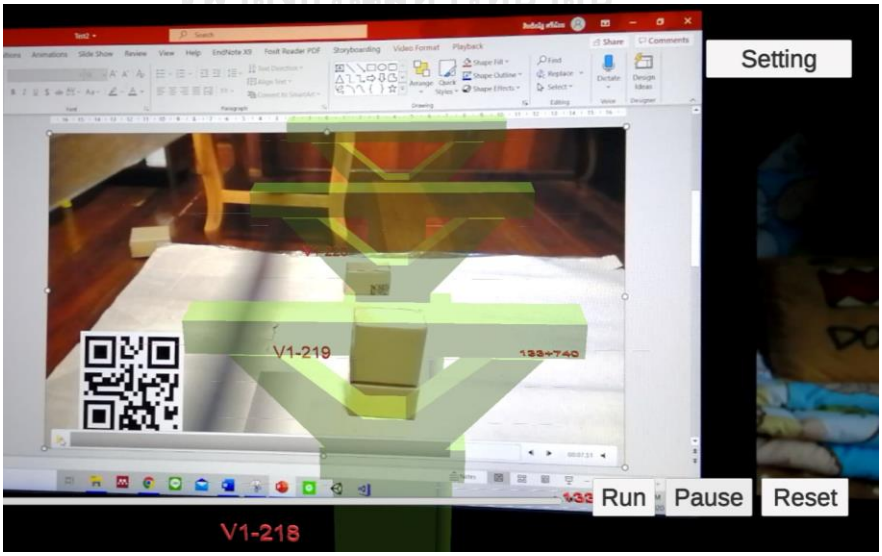
ด้านการแสดงผล งานวิจัยตรวจสอบการทำงานของแอปพลิเคชันประยุกต์ 3 ส่วนหลักได้แก่ การซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอ, ความถูกต้องในการแสดงแบบจำลอง 4 มิติตามแผนงาน และความถูกต้องในการดึงข้อมูลแผนงานตามโครงสร้างที่ต้องการสำรวจ

1) การซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงและโครงสร้างภายในวิดีโอ

งานวิจัยสังเกตความสมบูรณ์ในการแสดงซ้อนทับตลอดการสำรวจโครงการ



รูปที่ 4.30 การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมภายในแอปพลิเคชันในช่วงแรกของวิดีโอ



รูปที่ 4.31 การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมภายในแอปพลิเคชันในช่วงท้ายของวิดีโอ

ผลที่ได้พบว่าช่วงต้นของการใช้งาน แบบจำลองมีการซ้อนและการเรียงตัวของแนวแบบจำลองตรงตามโครงสร้างภายในวิดีโอ แต่ในช่วงท้ายการใช้งานเกิดการเหลื่อมระหว่างแบบจำลองกับโครงสร้าง ซึ่งเกิดจากในขั้นตอนการบันทึกวิดีโอการสำรวจโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยใช้การบันทึกและการเคลื่อนที่ซึ่งควบคุมด้วยมือส่งผลให้ความเร็วและมุมการบันทึกวิดีโอไม่คงที่ตลอดการสำรวจ แต่ในขณะที่การเคลื่อนของแบบจำลองในแอปพลิเคชันคงที่ความต่างดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองความเป็นจริงเสริมไม่สามารถซ้อนทับได้กับโครงสร้างภายในวิดีโอได้ตลอดโครงการ

2) ความถูกต้องในการแสดงแบบจำลอง 4 มิติตามแผนงาน

งานวิจัยพิสูจน์ความถูกต้องในการแสดงแบบจำลองโดยทำการสังเกตการแสดงผลของเสาต้นแรก เสา A โดยแบ่งวันที่ต้องการสำรวจเป็นวันที่ 10, 20, 40, 60, และ 80 ตามลำดับ โดยตามแผนงานก่อสร้างโครงการในห้องปฏิบัติการดังในรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่า งานก่อสร้างเสาเข็มทั้ง 4 ต้น (BP1_A, BP2_A, BP3_A, BP4_A) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 5 ของโครงการเป็นต้นไป งานก่อสร้างฐานเสา (F_A) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 15 ของโครงการเป็นต้นไป งานก่อสร้างเสาส่วนที่หนึ่ง (A2) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 20 ของโครงการเป็นต้นไป งานก่อสร้างเสาส่วนที่สอง (A3) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 30 ของโครงการเป็นต้นไป งานก่อสร้างหัวเสา (A4) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 51 ของโครงการเป็นต้นไป งานก่อสร้างคานรอง (A5) ต้องเสร็จและแสดงผลตั้งแต่วันที่ 69 ของโครงการเป็นต้นไป โดยสรุปข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Cost	Finish days	Element ID
1		**A1**	**15 days**	**Sun 8/11/19**	**Sun 8/25/19**		**$55,000...**		
2		BP1_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000...	5	584066
3		BP2_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000...	5	584067
4		BP3_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000...	5	584068
5		BP4_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000...	5	584069
6		F_A	10 days	Fri 8/16/19	Sun 8/25/19	2,3,4,5	$15,000...	15	584046
7		A2	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$5,000.00	20	579750
8		A3	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	7	$10,000...	30	579697
9		A4	21 days	Tue 9/10/19	Mon 9/30/19	8	$15,000...	51	579642
10		A5	18 days	Tue 10/1/19	Fri 10/18/19	9	$8,000.00	69	584753

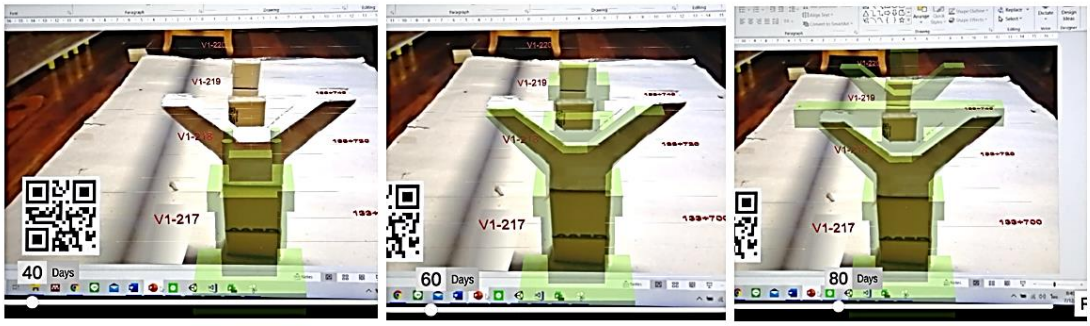
รูปที่ 4.32 แผนงานก่อสร้างเสา A ของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลวันที่เสร็จงานในงานก่อสร้างเสา A

Task name	BP1-4A	F_A	A2	A3	A4	A5
Finish days	5	15	20	30	51	69

การแสดงผลของแอปพลิเคชันเปลี่ยนตามการเลื่อนแถบเลื่อนด้านล่างของแอปพลิเคชันเพื่อเลือกวันที่ต้องการตรวจสอบสภาพงานตามแผนการทำงานของโครงการในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 4.33 การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการสำรวจ วันที่10(ซ้าย) วันที่20(ขวา)



รูปที่ 4.34 การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการสำรวจ วันที่40(ซ้าย) วันที่60(กลาง) วันที่80(ขวา)

โดยผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลการทดสอบความถูกต้องในการแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการตรวจสอบดังตารางที่ 4.4 ซึ่งมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับแผนงานก่อสร้างโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.4 สรุปการแสดงชิ้นโครงสร้างแบบจำลองเสา A ตามวันสำรวจ

	BP1-BP4	F_A	A2	A3	A4	A5
วันที่ 10	☑					
วันที่ 20	☑	☑	☑			
วันที่ 40	☑	☑	☑	☑		
วันที่ 60	☑	☑	☑	☑	☑	
วันที่ 80	☑	☑	☑	☑	☑	☑

3) การดึงข้อมูลจากแผนการทำงานตรงตามโครงสร้างภายในแอปพลิเคชัน

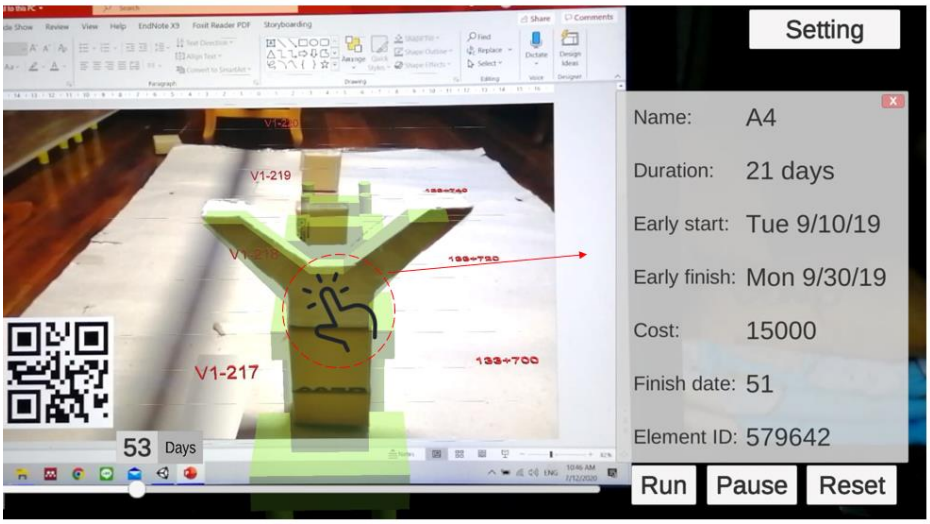
งานวิจัยพิสูจน์ความถูกต้องในการดึงข้อมูลตามโครงสร้าง โดยตรวจสอบชิ้นส่วนโครงสร้างหัวเสา (A4) และ คานรอง (A5) ข้อมูลที่นำมาแสดงทั้งหมดประกอบด้วยข้อมูล ชื่อชิ้นส่วน (Task Name) ระยะเวลาที่ใช้ (Duration) วันเริ่มงาน (Early Start date) วันเสร็จงาน (Early Finish date) ค่าใช้จ่าย (Cost) ระยะเวลาที่เสร็จงานหลังเริ่มต้นโครงการ (Finish days) รหัสประจำชิ้นส่วนโครงสร้างจาก Autodesk Revit (Element ID) โดยข้อมูลโครงสร้าง A4 และ A5 แสดงดังในรูปที่ 4.35

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor:	Cost	Finish Date	Duration	Element ID
A1	**15 days**	**Sun 8/11/19**	**Sun 8/25/19**		**$55,000.00**		**0**	
BP1_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	5	584066
BP2_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	5	584067
BP3_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	5	584068
BP4_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	5	584069
F_A	10 days	Fri 8/16/19	Sun 8/25/19	2,3,4,5	$15,000.00	15	10	584046
A2	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$5,000.00	20	5	579750
A3	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	7	$10,000.00	30	10	579697
A4	21 days	Tue 9/10/19	Mon 9/30/19	8	$15,000.00	51	21	579642
A5	18 days	Tue 10/1/19	Fri 10/18/19	9	$8,000.00	69	18	584753

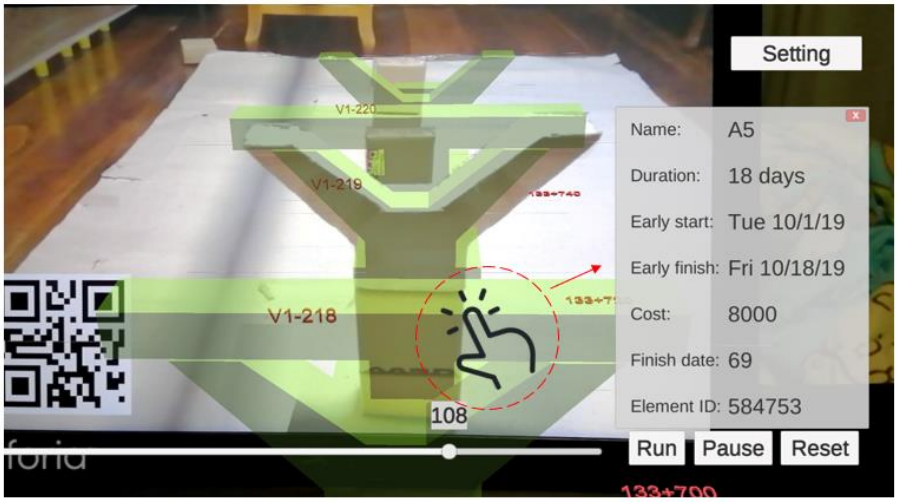
รูปที่ 4.35 ข้อมูลแผนงานก่อสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างเสา A โดยเฉพาะส่วน

การดึงข้อมูลแผนงานตามโครงสร้างภายในแอปพลิเคชัน หลังจากมีการแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ผู้ใช้งานต้องกดลงบนชิ้นโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ โดยแอปพลิเคชันจะแสดงข้อมูลในด้านขวามือของผู้ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 4.36 ซึ่งเป็นการแสดงข้อมูลแผนงานก่อสร้างเสา A ส่วนของหัวเสา และ 4.37 ซึ่งเป็นการแสดงข้อมูลแผนงานก่อสร้างเสา A ส่วนของคานรอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.36 ตัวอย่างการดึงข้อมูลแผนงานในการใช้งานแอปพลิเคชัน (1)



รูปที่ 4.37 ตัวอย่างการดึงข้อมูลแผนงานในการใช้งานแอปพลิเคชัน (2)

4.2.2 **การประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามความคืบหน้า**

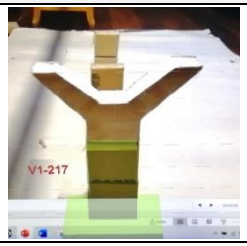
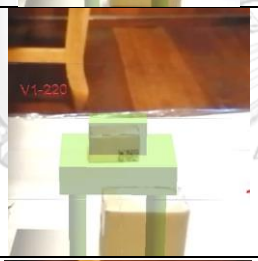
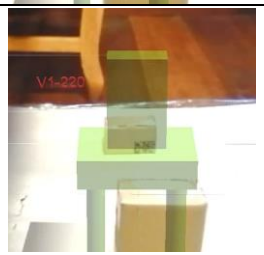
การติดตามความคืบหน้าของงานก่อสร้าง มีหลักการเปรียบเทียบสภาพงานตามจริงและสภาพงานตามแผนงานซึ่งได้จากการผสานข้อมูลระหว่างแผนงานก่อสร้างและข้อมูลแบบจำลองสามมิติ ดังนั้นงานวิจัยเสนอกระบวนการติดตามความคืบหน้าผ่านการสังเกตความแตกต่างระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมในแอปพลิเคชัน และโครงสร้างงานก่อสร้างจริงภายในวิดีโอ โดยและแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าเป็น 3 รูปแบบได้แก่

1) กรณีแบบจำลองความเป็นจริงเสริมแสดงโครงสร้าง น้อยกว่า โครงสร้างงานก่อสร้างภายในวิดีโอ ซึ่งแสดงถึง งานก่อสร้างมีความคืบหน้า มากกว่า แผนงาน
2) กรณีแบบจำลองความเป็นจริงเสริมแสดงโครงสร้าง เท่ากับ โครงสร้างงานก่อสร้างภายในวิดีโอ ซึ่งแสดงถึง งานก่อสร้างมีความคืบหน้า ตรงตาม แผนงาน
3) กรณีแบบจำลองความเป็นจริงเสริมแสดงโครงสร้าง มากกว่า โครงสร้างงานก่อสร้างภายในวิดีโอ ซึ่งแสดงถึง งานก่อสร้างมีความคืบหน้า น้อยกว่า แผนงาน

ผลที่ได้พบว่า การแสดงผลดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์ความคืบหน้าของการก่อสร้างได้โดยแอปพลิเคชันภายในระบบของงานวิจัยสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการ และสามารถกำหนดวันที่ต้องการตรวจสอบเพื่อแสดงแบบจำลองเป็นสภาพโครงการตามแผนงาน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงข้อมูลของแผนงานตามโครงสร้างเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความคืบหน้าในงานก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ

รูปแบบการก่อสร้างเสาของโครงการในขั้นที่ต่างกัน			**จำนวนโครงสร้างของแบบจำลองความเป็นจริงเสริม เทียบกับโครงสร้างของงานก่อสร้างจริง**	**การแปลความหมายข้อมูลความคืบหน้าในงานก่อสร้างเทียบกับแผนงาน**
			น้อยกว่า (แบบจำลองความเป็นจริงเสริมน้อยกว่าโครงสร้างจริง)	ความคืบหน้ามากกว่าแผนงานที่วางไว้
			เท่ากัน (แบบจำลองความเป็นจริงเสริมเท่ากับโครงสร้างจริง)	ความคืบหน้ามากกว่าหรือเท่ากันแผนงานที่วางไว้
			มากกว่า (แบบจำลองความเป็นจริงเสริมมากกว่าโครงสร้างจริง)	ความคืบหน้าล่าช้ากว่าแผนงานที่วางไว้

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาระบบ

บทนี้อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

4.3.1 **รูปแบบของโครงสร้างและแผนงานก่อสร้างของโครงการ**

การสร้างข้อมูล 4 มิติสำหรับจำลองสภาพงานตามแผนงานต้องมีการผสานข้อมูลระหว่างโครงสร้างภายในแบบจำลองสามมิติและแผนงานก่อสร้าง เพื่อแสดงโครงสร้างตามวันที่ต้องการตรวจสอบ ดังนั้นระดับความละเอียดของแผนงานต้องมีความสอดคล้องกับรูปแบบโครงสร้างของโครงการ

4.3.2 **หน่วยความยาว**

การพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย ในขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันต้องมีการรวบรวมข้อมูลหน่วยความยาวรวมถึงระยะที่ใช้ โดยต้องเปรียบเทียบข้อมูลความยาวเพื่อนำมาใช้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับใช้งานในระบบ โดยข้อมูลความยาวดังกล่าวประกอบไปด้วย

1) หน่วยความยาวสภาพงานจริง
2) หน่วยความยาวแบบจำลองสามมิติ Autodesk Revit
3) หน่วยความยาววิดีโอ (หน่วยดังกล่าวเป็นหน่วยสมมุติโดยเปรียบเทียบความยาวของวัตถุเดียวกันระหว่างวิดีโอและความยาวจริง)
4) ความยาวของคิวอาร์โค้ดที่วางบนวิดีโอ
5) ระยะระหว่างคิวอาร์โค้ดและกึ่งกลางของเสาต้นแรกภายในวิดีโอการสำรวจโครงการ
6) ระยะระหว่างจุดเริ่มต้นของการบันทึกการสำรวจโครงการกับเสาต้นแรกของโครงการ
7) ระยะของความสูงในการบันทึกการสำรวจโครงการ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.3 **ความเร็วและเส้นทางการสำรวจโครงการ**

การบันทึกการสำรวจโครงการต้องมีความเร็วและมุมในการสำรวจคงที่ ประกอบกับต้องมีการควบคุมเส้นทางการสำรวจโครงการเป็นเส้นทางเดิมตลอดระยะเวลาการก่อสร้าง เพื่อสะดวกต่อการพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้า ในขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งต้องมีการปรับค่าความเร็ว มุม และเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองความเป็นจริงเสริมให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ภายในวิดีโอ เพื่อให้แบบจำลองสามารถแสดงซ้อนทับได้อย่างสมบูรณ์ตลอดการติดตามความคืบหน้าของโครงการ

4.4 สรุประบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

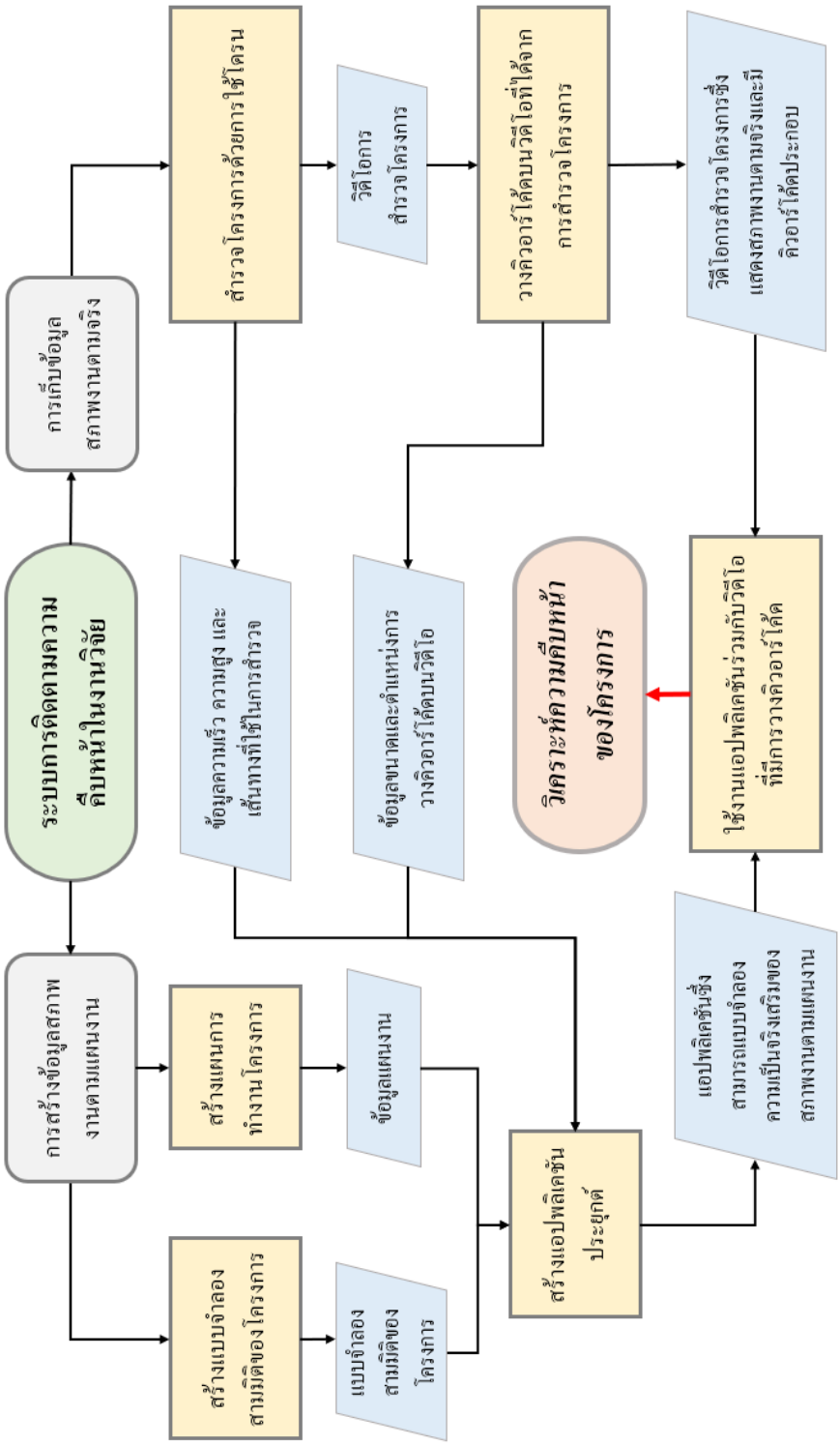
ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยเป็นแนวทางซึ่งพัฒนาผ่านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) Augmented Reality (AR) และ Unmanned Aerial Vehicle (UAVs) โดยระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยแบ่งการทำงานเป็นสองส่วนหลักได้แก่ การเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง และการสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการดังแสดงในรูปที่ 4.38

4.4.1 **การเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง**

ระบบใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับการเก็บข้อมูลสภาพงานของโครงการจริง และบันทึกวิดีโอการสำรวจโครงการเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับแผนงาน โดยวิดีโอดังกล่าวต้องมีการวางคิวอาร์โค้ดประกอบเพื่อระบุจุดแสดงข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน

4.4.2 **การสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน**

ข้อมูลสภาพงานตามแผนงานหมายถึงข้อมูลแบบจำลองซึ่งสามารถแสดงสภาพของโครงการตามแผนงานตามวันที่ต้องการตรวจสอบ โดยสร้างแบบจำลองสามมิติของโครงการ และสร้างข้อมูลแผนงานก่อสร้างของโครงการ เพื่อผสานรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลดังกล่าวสำหรับสร้างแอปพลิเคชันซึ่งสามารถแสดงสภาพงานตามแผนงานในรูปแบบของแบบจำลองความเป็นจริงเสริม โดยในกระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันต้องมีการนำข้อมูล ความเร็ว ความสูง และเส้นทางที่ใช้ในการสำรวจโครงการผ่านการใช้อากาศยานไร้คนขับ และข้อมูลขนาด ตำแหน่งการวางคิวอาร์โค้ดบนวิดีโอในข้อ 4.4.1 มาประกอบการพัฒนาเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.38 แผนภาพการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

บทที่ 5
การประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

บทนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับการก่อสร้างโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งเพื่อทดสอบการแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมในโครงการก่อสร้างจริง โดยกรณีศึกษาคือส่วนหนึ่งของโครงการก่อสร้างทางพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) บางปะอิน-นครราชสีมา

งานวิจัยแบ่งกรณีศึกษาตามลักษณะเส้นทางของโครงการเพื่อศึกษาความแตกต่างในการประยุกต์ใช้กับโครงการซึ่งมีลักษณะของเส้นทางที่ต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษาได้แก่

1. ช่วงที่เส้นทางของโครงการเป็นทางตรงตลอดการสำรวจ
2. ช่วงที่เส้นทางของโครงการมีทางโค้งประกอบร่วมด้วย

5.1 ลักษณะของโครงการในกรณีศึกษา

โครงการการก่อสร้างทางพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) บางปะอิน-นครราชสีมา ถือเป็นหนึ่งในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง โดยมีช่องทางการจราจรฝั่งละ 4-6 ช่องทาง มีระยะทางรวม 196 กิโลเมตร ประกอบด้วยเส้นทางตรงและทางโค้งตามภูมิประเทศ

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างวิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 1 (ทางตรง)

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างวิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 2 (ทางโค้ง)

5.2 ขั้นตอนการประยุกต์ระบบการติดตามความคืบหน้ากับกรณีศึกษา

หัวข้อนี้จะอธิบายขั้นตอนการประยุกต์แนวทางการติดตามความคืบหน้าของงานวิจัยกับโครงการกรณีศึกษา โดยมีขั้นตอนเหมือนกับการติดตามความคืบหน้าโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ แต่มีการปรับข้อมูลที่ใช้ การเปรียบเทียบระยะและหน่วยความยาว และการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติ เพื่อนำไปปรับใช้กับโครงการกรณีศึกษา

กระบวนการการประยุกต์แนวทางการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยร่วมกับงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับประกอบไปด้วย

1) สร้างข้อมูลแบบจำลองสามมิติของโครงการ
2) สร้างข้อมูลแผนงานก่อสร้างโครงการ
3) เตรียมการเชื่อมผสานข้อมูลแบบจำลองสามมิติและแผนงานเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพงานตามแผนงาน โดยเพิ่มข้อมูล รหัสประจำโครงสร้าง (Element ID) และระยะเวลาเสร็จงานนับตั้งแต่วันเริ่มโครงการ (Finish date – Start date of Project) ลงในแผนงาน
4) เก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง ผ่านการใช้อากาศยานไร้คนขับบินบันทึกวิดีโอสำรวจโครงการโดยต้องใช้ความเร็ว ความสูง และมุมการสำรวจคงที่
5) นำคิวอาร์โค้ดวางบนวิดีโอซึ่งได้จากการสำรวจโครงการในข้อที่ 4
6) วัดขนาดของคิวอาร์โค้ดและระยะระหว่างกึ่งกลางคิวอาร์โค้ดและกึ่งกลางของโครงสร้างเสาต้นแรกภายในวิดีโอ โดยใช้หน่วยสมมุติเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยความยาวสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์
7) สร้างแอปพลิเคชันประยุกต์สำหรับแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริม โดยแอปพลิเคชันสามารถใช้กับการติดตามความคืบหน้าได้ดังนี้
    ก) เชื่อมผสานข้อมูลแบบจำลองสามมิติและแผนงานเพื่อแสดงแบบจำลองสภาพงานตามแผนงาน
    ข) เชื่อมผสานข้อมูลแบบจำลองสามมิติและแผนงานเพื่อแสดงข้อมูลแผนงานตามโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ
    ค) จัดวางขนาดและตำแหน่งของคิวอาร์โค้ดและแบบจำลองสามมิติเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมซ้อนทับกับวิดีโอได้อย่างสมบูรณ์
    ง) กำหนดความเร็วและเส้นทางในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในแอปพลิเคชันให้สอดคล้องกับวิดีโอการสำรวจโครงการเพื่อให้แบบจำลองความเป็นจริงเสริมสามารถซ้อนทับได้ตลอดการทำงานของวิดีโอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

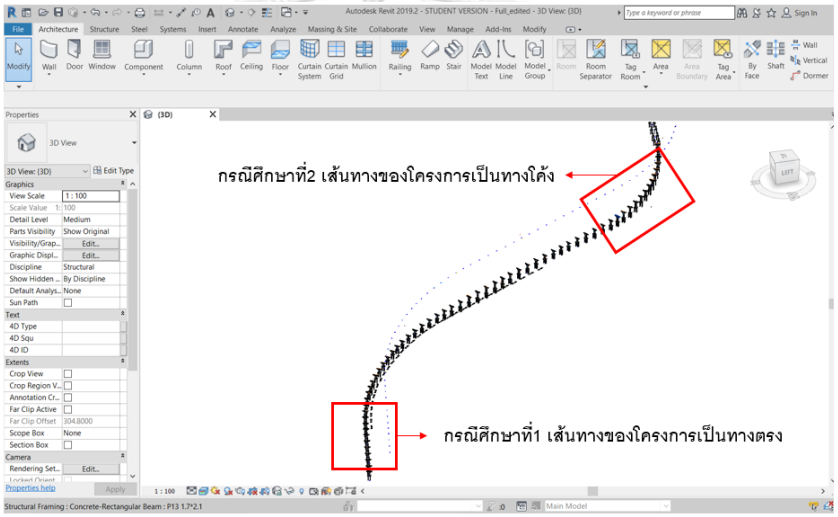
8) ใช้งานแอปพลิเคชันประยุกต์ร่วมกับวิดีโอซึ่งมีคิวอาร์โค้ดประกอบ

9) ศึกษาหลักการวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการกรณีศึกษา

5.2.1 **ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาระบบ**

1) แบบจำลองสามมิติของโครงการ

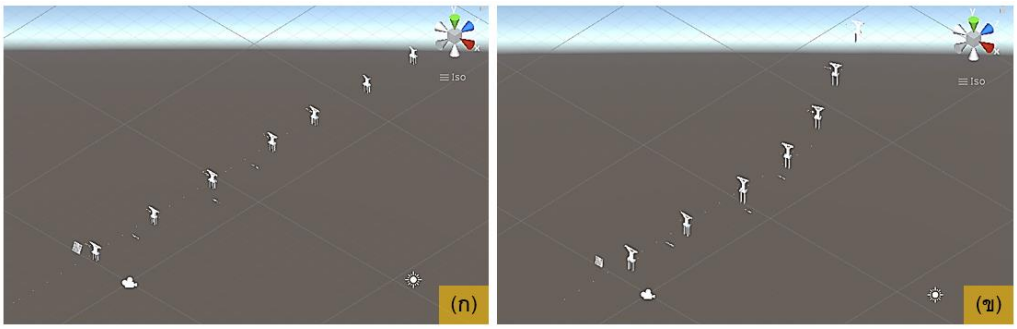
งานวิจัยใช้แบบจำลองสามมิติเฉพาะส่วนของโครงการ โดยกรณีศึกษาที่ 1 เป็นเส้นทางตรง ประกอบด้วยเสาจำนวน 7 ต้น และกรณีศึกษาที่ 2 เป็นเส้นทางโค้งประกอบด้วยเสาจำนวน 7 ต้น โดยโครงสร้างเสาในกรณีศึกษามีความใกล้เคียงกับโครงสร้างเสาของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นงานวิจัยเลือกใช้แบบจำลองสามมิติเดียวกันกับแบบจำลองโครงการในห้องปฏิบัติการแต่มีการเพิ่มจำนวนเสา ปรับความยาวและระยะให้ตรงตามโครงการกรณีศึกษา



รูปที่ 5.3 แบบจำลองสามมิติของโครงการในกรณีศึกษา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบบจำลองสามมิติของโครงการถูกแยกเฉพาะส่วนที่ศึกษาและเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลป็นข้อมูลวัตถุจำลองสามมิติ (FBX) เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันประยุกต์



รูปที่ 5.4 แบบจำลองสามมิติซึ่งเป็นรูปแบบวัตถุจำลองสามมิติ (ก) กรณีศึกษาที่ 1 (ข) กรณีศึกษาที่ 2

2) แผนงานของโครงการ

งานวิจัยสร้างแผนงานเพื่อใช้ในโครงการกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 โดยเป็นแผนงานเดียวกัน รายละเอียดของแผนงานที่สร้างมีรูปแบบเหมือนกับแผนงานที่สร้างขึ้นสำหรับโครงการในห้องปฏิบัติการแต่มีการเพิ่มข้อมูลในเสาอีก 3 ต้นได้แก่ เสา E เสา F และเสา G

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor	Cost	Finish Date	Element ID
A1	**15 days**	**Sun 8/11/19**	**Sun 8/25/19**		**$55,000.00**		
BP1_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	584066
BP2_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	584067
BP3_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	584068
BP4_A	5 days	Sun 8/11/19	Thu 8/15/19		$10,000.00	5	584069
F_A	10 days	Fri 8/16/19	Sun 8/25/19	2,3,4,5	$15,000.00	15	584046
A2	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$5,000.00	20	579750
A3	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	7	$10,000.00	30	579697
A4	21 days	Tue 9/10/19	Mon 9/30/19	8	$15,000.00	51	579642
A5	18 days	Tue 10/1/19	Fri 10/18/19	9	$8,000.00	69	584753
B1	**15 days**	**Mon 8/26/19**	**Mon 9/9/19**		**$55,000.00**		
BP1_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586268
BP2_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586269
BP3_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586270
BP4_B	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586271
F_B	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	6,12,13,14,15	$15,000.00	30	586266
B2	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	7,16	$5,000.00	35	586264
B3	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	8,17	$10,000.00	45	586262
B4	21 days	Tue 10/1/19	Mon 10/21/19	9,18	$15,000.00	72	586260
B5	18 days	Tue 10/22/19	Fri 11/8/19	10,19	$8,000.00	90	586272
C1	**15 days**	**Tue 9/10/19**	**Tue 9/24/19**		**$55,000.00**		
BP1_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586344
BP2_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586345
BP3_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586346
BP4_C	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586344
F_C	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	16,22,23,24,25	$15,000.00	45	586342
C2	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	17,26	$5,000.00	50	586340
C3	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	18,27	$10,000.00	60	586338
C4	21 days	Tue 10/22/19	Mon 11/11/19	19,28	$15,000.00	93	586336
C5	18 days	Tue 11/12/19	Fri 11/29/19	20,29	$8,000.00	111	586348
D1	**15 days**	**Wed 9/25/19**	**Wed 10/9/19**		**$55,000.00**		
BP1_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586408
BP2_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586409
BP3_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586410
BP4_D	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586408
F_D	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	26,32,33,34,35	$15,000.00	60	586406
D2	5 days	Thu 10/10/19	Mon 10/14/19	27,36	$5,000.00	65	586404
D3	10 days	Tue 10/15/19	Thu 10/24/19	37,28	$10,000.00	75	586402
D4	21 days	Tue 11/12/19	Mon 12/2/19	38,29	$15,000.00	114	586400
D5	18 days	Tue 12/3/19	Fri 12/20/19	30,39	$8,000.00	132	586412
E1	**15 days**	**Mon 8/26/19**	**Mon 9/9/19**		**$55,000.00**		
BP1_E	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586470
BP2_E	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586471
BP3_E	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586472
BP4_E	5 days	Mon 8/26/19	Fri 8/30/19	6	$10,000.00	20	586480
F_E	10 days	Sat 8/31/19	Mon 9/9/19	6,12,13,14,15	$15,000.00	30	586482
E2	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	7,16	$5,000.00	35	586469
E3	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	8,17	$10,000.00	45	586468
E4	21 days	Tue 10/1/19	Mon 10/21/19	9,18	$15,000.00	72	586475
E5	18 days	Tue 10/22/19	Fri 11/8/19	10,19	$8,000.00	90	586480
F1	**15 days**	**Tue 9/10/19**	**Tue 9/24/19**		**$55,000.00**		
BP1_F	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586501
BP2_F	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586502
BP3_F	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586503
BP4_F	5 days	Tue 9/10/19	Sat 9/14/19	16	$10,000.00	35	586512
F_F	10 days	Sun 9/15/19	Tue 9/24/19	16,22,23,24,25	$15,000.00	45	586510
F2	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	17,26	$5,000.00	50	586509
F3	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	18,27	$10,000.00	60	586513
F4	21 days	Tue 10/22/19	Mon 11/11/19	19,28	$15,000.00	93	586514
F5	18 days	Tue 11/12/19	Fri 11/29/19	20,29	$8,000.00	111	586519
G1	**15 days**	**Wed 9/25/19**	**Wed 10/9/19**		**$55,000.00**		
BP1_G	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586580
BP2_G	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586581
BP3_G	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586582
BP4_G	5 days	Wed 9/25/19	Sun 9/29/19	26	$10,000.00	50	586590
F_G	10 days	Mon 9/30/19	Wed 10/9/19	26,32,33,34,35	$15,000.00	60	586592
G2	5 days	Thu 10/10/19	Mon 10/14/19	27,36	$5,000.00	65	586579
G3	10 days	Tue 10/15/19	Thu 10/24/19	37,28	$10,000.00	75	586584
G4	21 days	Tue 11/12/19	Mon 12/2/19	38,29	$15,000.00	114	586586
G5	18 days	Tue 12/3/19	Fri 12/20/19	30,39	$8,000.00	132	586595

รูปที่ 5.5 แผนงานก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา

3) วิดีโอการสำรวจโครงการ

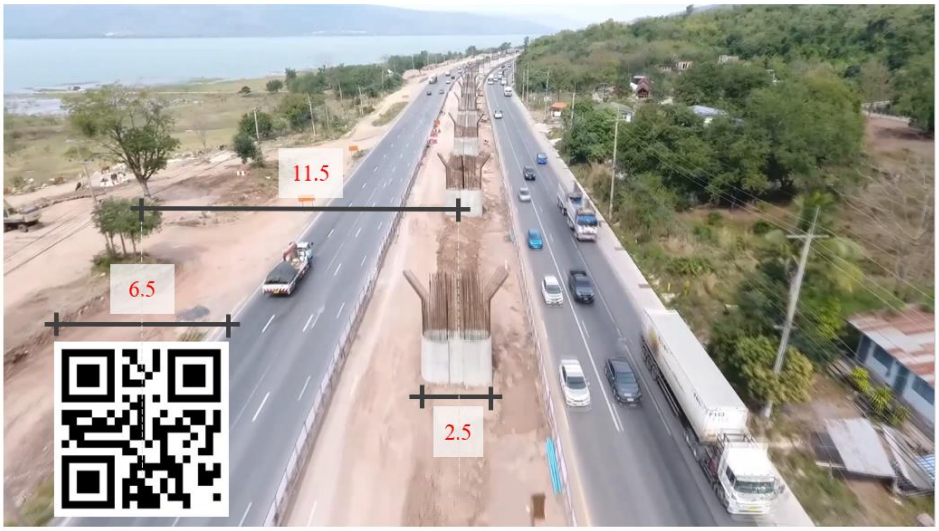
โครงการกรณีศึกษาใช้อากาศยานไร้คนขับสำรวจโครงการโดยมีความเร็วและมุมการสำรวจคงที่ การบันทึกการสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1 ตลอดจน กรณีศึกษาที่ 2 ใช้อากาศยานไร้คนขับเดียวกัน งานวิจัยนำวิดีโอที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงตามกรณีศึกษาและวางคิวอาร์โค้ดประกอบ

รูปที่ 5.6 วิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 1 โดยมีคิวอาร์โค้ดประกอบ

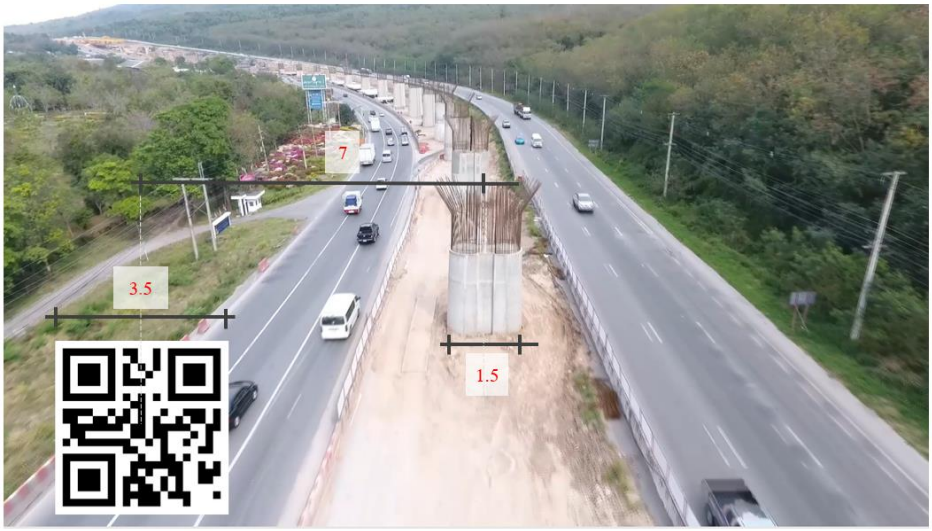
รูปที่ 5.7 วิดีโอการสำรวจโครงการในกรณีศึกษาที่ 2 โดยมีคิวอาร์โค้ดประกอบ

5.2.2 **การเปรียบเทียบระยะและหน่วยความยาว**

การเปรียบเทียบหน่วยความยาวของระบบกับโครงการกรณีศึกษามีผลที่ได้ 1 หน่วย Unity จะเท่ากับ 1 เมตร Autodesk Revit และเท่ากับ 1 เมตรในความยาวจริง แต่ในการเปรียบเทียบอัตราส่วนความยาวในวิดีโอได้ค่าที่แตกต่างกันในกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 โดยกรณีศึกษาที่ 1 วัดความกว้างของเสาภายในวิดีโอได้ 2.5 เซนติเมตร และกรณีศึกษาที่ 2 วัดความกว้างของเสาได้ 1.5 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับความกว้างของเสาจริงคือ 5 เมตร จะได้สัดส่วนเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบเท่ากับ 0.5 และ 0.3 หน่วยตามลำดับ สรุปผลได้ดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.8 การวัดระยะเพื่อเปรียบเทียบค่าสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบ กรณีศึกษาที่ 1



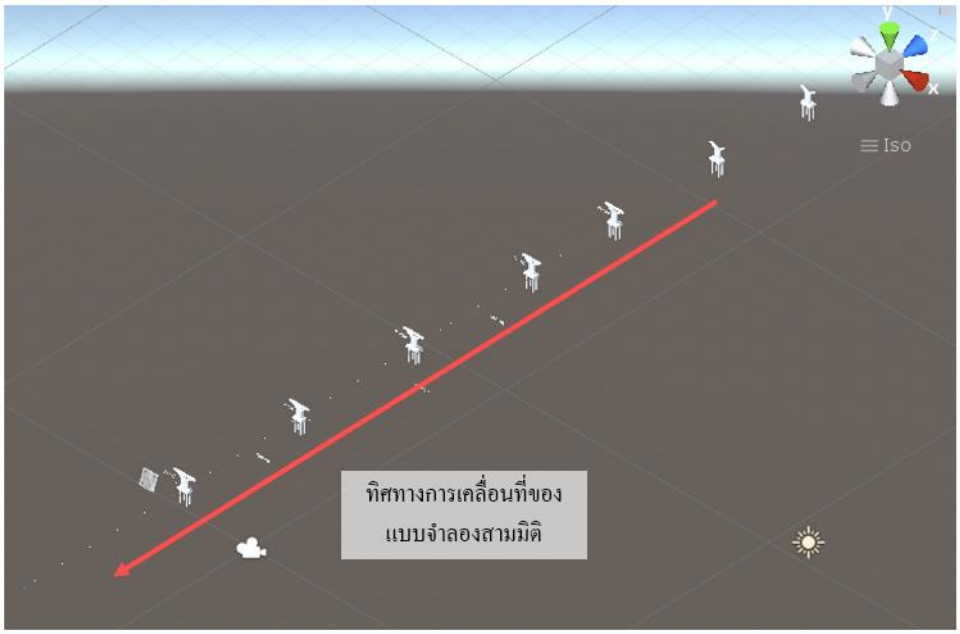
รูปที่ 5.9 การวัดระยะเพื่อเปรียบเทียบค่าสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบ กรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 5.1 มาตราหน่วยเทียบสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบเพื่อใช้กับโครงการกรณีศึกษา

	Autodesk Revit	มาตราวัดจริง	วิดีโอกรณีที่ 1	วิดีโอกรณีที่ 2	Unity
หน่วยมาตราวัด	1 เมตร	1 เมตร	0.5	0.3	1 หน่วย
ขนาดคิวอาร์โค้ด (1)	-	-	6.5	-	13 หน่วย
ระยะระหว่างคิวอาร์โค้ดและเสา (1)	-	-	11.5	-	23 หน่วย
ขนาดคิวอาร์โค้ด (2)	-	-	-	3.5	11.67 หน่วย
ระยะระหว่างคิวอาร์โค้ดและเสา (2)	-	-	-	7	23.33 หน่วย

5.2.3 **การเคลื่อนที่และเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลอง**

กรณีศึกษาที่ 1 เส้นทางของโครงการกรณีศึกษาที่ 1 เป็นเส้นทางตรงทั้งหมดส่งผลให้ทิศทางการเคลื่อนที่ในการสำรวจเป็นเส้นทางตรงเท่านั้นซึ่งมีความเหมือนกับโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการดังนั้นการปรับแอปพลิเคชันเพื่อใช้กับกรณีศึกษาที่ 1 จะปรับค่าความเร็วในการเคลื่อนของแบบจำลองสามมิติที่ให้สอดคล้องกับความเร็วของการสำรวจด้วยโดรนเท่านั้น



รูปที่ 5.10 การเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

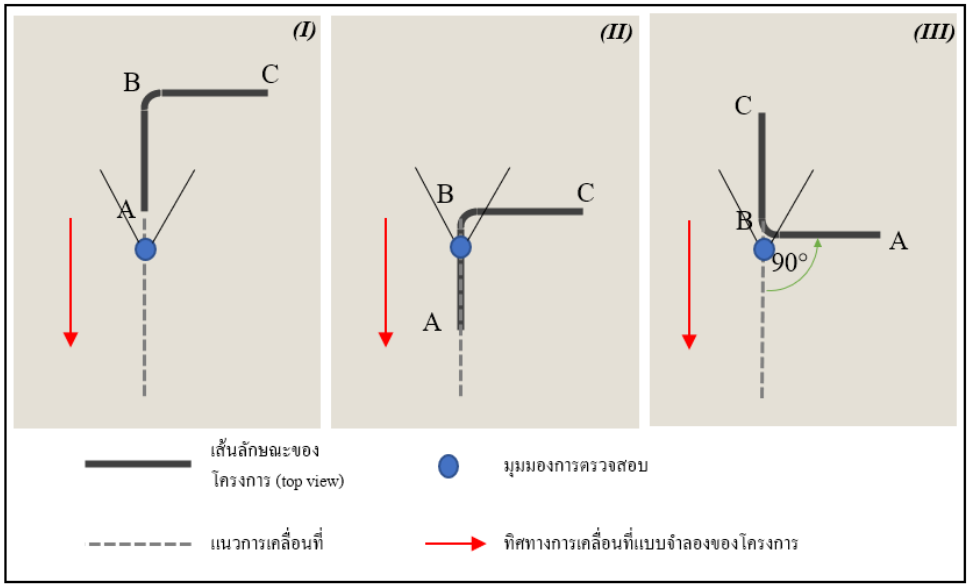
กรณีศึกษาที่ 2 เส้นทางของโครงการกรณีศึกษาที่ 2 เป็นเส้นทางซึ่งมีทางโค้งประกอบส่งผลให้ต้องมีการปรับการเคลื่อนที่แบบจำลองสามมิติให้สอดคล้องกับเส้นทางการสำรวจในช่วงทางโค้งของโครงการ งานวิจัยใช้หลักการปรับการเคลื่อนที่สำหรับกรณีโครงการมีเส้นทางโค้ง โดยยังคงให้แบบจำลองเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงดังเดิม แต่ในขณะที่โครงการเข้าสู่เส้นทางโค้ง แบบจำลองสามมิติจะหมุนตามมุมความโค้งของทางโค้งนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่นในรูปที่ 5.11

รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างวิธีการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในแอปพลิเคชันสำหรับโครงการที่มีทางโค้ง โดยโครงการตัวอย่างเป็นโครงการซึ่งมีระยะทางยาว ABC และ ณ จุด B โครงการมีการโค้งโดยมีมุม 90 องศา และแบ่งการเคลื่อนที่เป็น 3 ระยะ ดังนั้นค่าสำคัญที่ต้องมีการวัดและปรับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติของโครงการซึ่งมีทางโค้งเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้สอดคล้องกับวิดีโอ ได้แก่ ระยะก่อนเข้าถึงทางโค้งและมุมของทางโค้งดังกล่าว

ระยะที่ 1 แบบจำลองสามมิติของโครงการเริ่มเคลื่อนที่ โดยเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแกนของโครงการส่วน AB เคลื่อนเข้าหาจุดมุมมองการตรวจสอบ

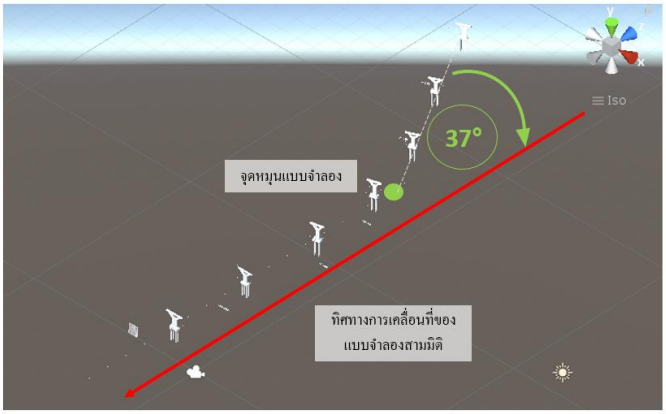
ระยะที่ 2 แบบจำลองสามมิติของโครงการเคลื่อนที่เท่ากับระยะ AB หรือจุดโค้งของโครงการเคลื่อนที่ถึงจุดมุมมองการตรวจสอบ

ระยะที่ 3 แบบจำลองสามมิติของโครงการจะหมุนตามมุมความโค้งที่จุด B ซึ่งเท่ากับ 90 องศา เพื่อนำส่วนของเส้นทาง BC เข้าหามุมมองการตรวจสอบ และแบบจำลองจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเข้าหามุมมองการตรวจสอบต่อไป

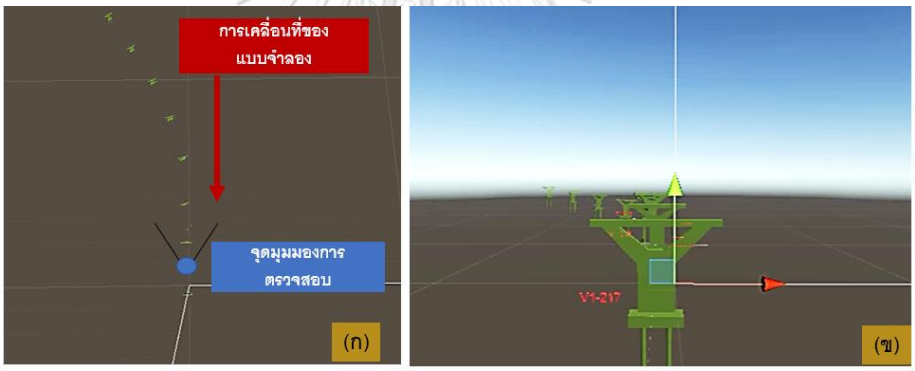


รูปที่ 5.11 ตัวอย่างวิธีการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติของโครงการซึ่งมีทางโค้งประกอบ

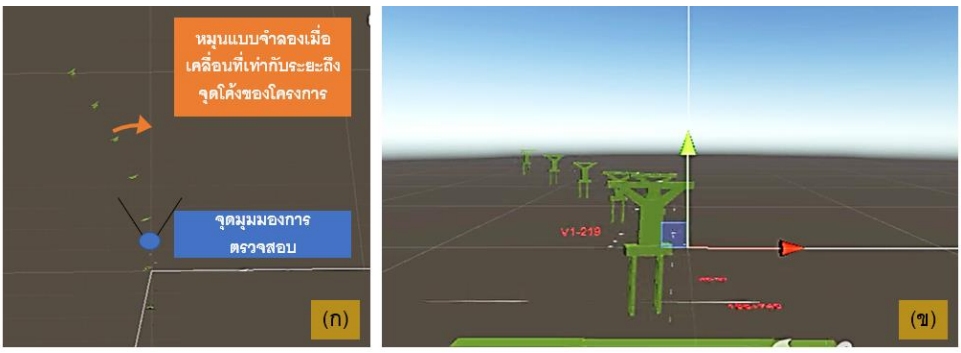
งานวิจัยนี้ปรับใช้หลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติในโครงการกรณีศึกษาที่ 2 ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และแสดงการเคลื่อนที่ของแบบจำลองแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยแสดงผ่านมุมมองสำรวจด้านบน และมุมมองการตรวจสอบ ดังในรูปที่ 5.13 รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15



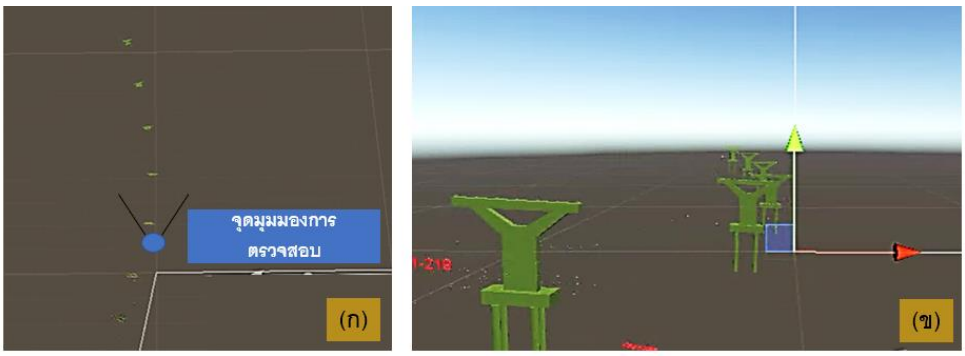
รูปที่ 5.12 การเคลื่อนที่ของแบบจำลองสามมิติในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 5.13 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 2 ในระยะที่ 1 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ



รูปที่ 5.14 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 2 ในระยะที่ 2 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ



รูปที่ 5.15 การเคลื่อนของแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 3 ในระยะที่ 3 (ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองการตรวจสอบ

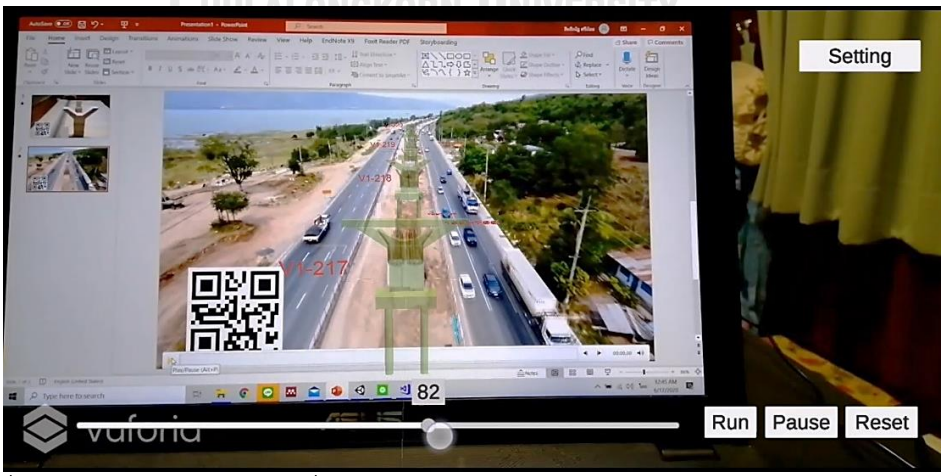
5.3 ผลการประยุกต์ใช้

งานวิจัยนี้ตรวจสอบผลการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับโครงการกรณีศึกษา โดยใช้แอปพลิเคชันซึ่งพัฒนาขึ้นสำหรับโครงการกรณีศึกษาเพื่อทำงานร่วมกับวิดีโอการสำรวจโครงการซึ่งมีคิวอาร์โค้ดประกอบ

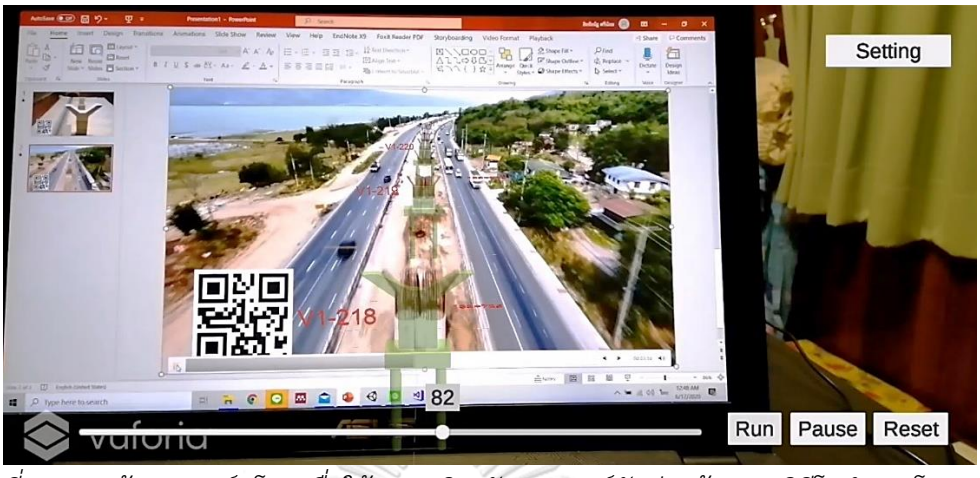
การประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา งานวิจัยจะวิเคราะห์ผลลัพธ์เฉพาะในด้านของการแสดงซ้อนทับแบบจำลองความเป็นจริงเสริมบนโครงสร้างจริงภายในวิดีโอการสำรวจโครงการเพื่อวิเคราะห์ความคืบหน้าเท่านั้น

5.3.1 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 1

กรณีที่ 1 เส้นทางของโครงการเป็นเส้นทางตรงเท่านั้น



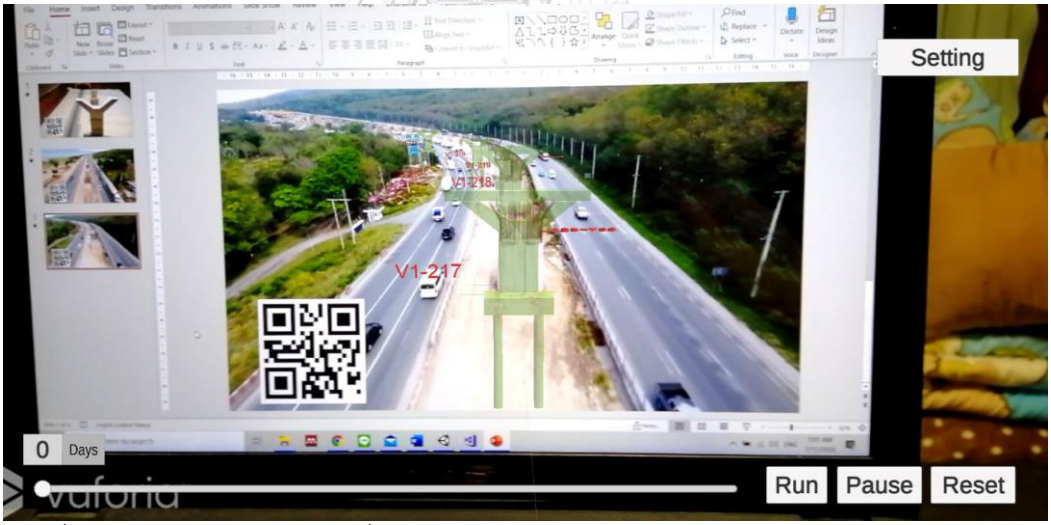
รูปที่ 5.16 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงต้นของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1



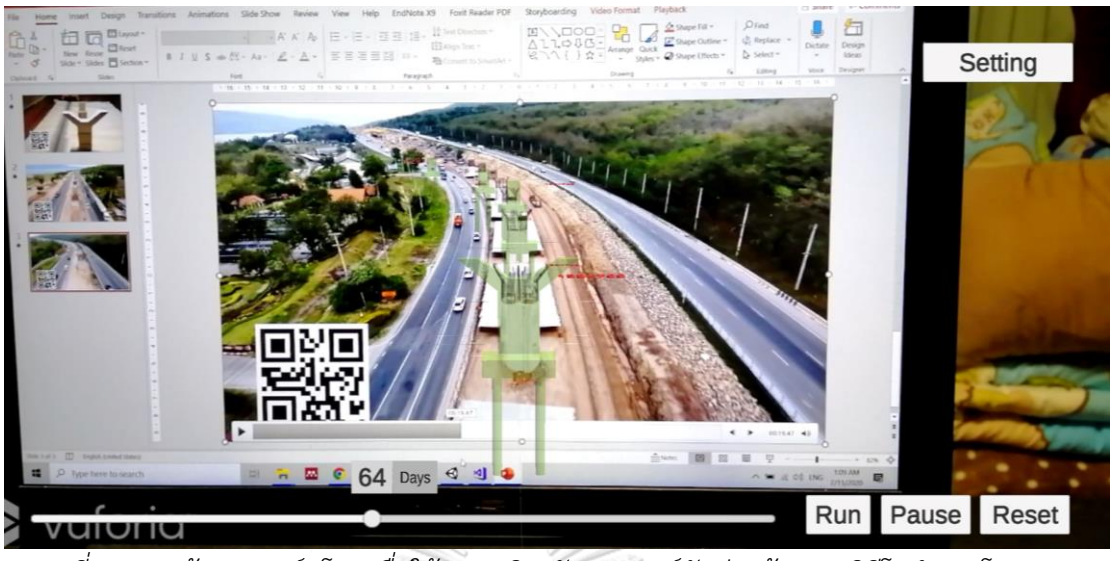
รูปที่ 5.17 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงท้ายของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1

5.3.2 **ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 2**

กรณีที่ 2 เส้นทางของโครงการมีทางโค้งประกอบ



รูปที่ 5.18 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงต้นของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2



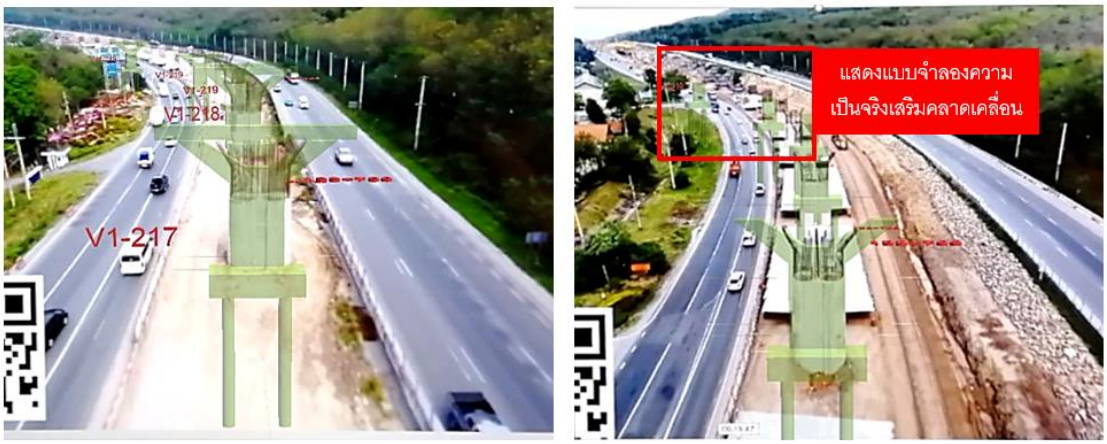
รูปที่ 5.19 หน้าจอสมาร์ทโฟนเมื่อใช้แอปพลิเคชันประยุกต์กับช่วงท้ายของวิดีโอสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2

5.3.3 **การวิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้**

งานวิจัยวิเคราะห์ผลการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย ในด้านของการแสดงซ้อนทับเพื่อสังเกตความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามแผนงาน (แบบจำลองความเป็นจริงเสริม) และสภาพงานตามจริง (โครงสร้างภายในวิดีโอ) โดยผลความแตกต่างที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการต่อไป

รูปที่ 5.20 ผลการแสดงซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 1

โครงการกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทางตรงตลอดโครงการ แบบจำลองความเป็นจริงเสริมสามารถแสดงซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถเห็นความเหมือนหรือความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามแผนงาน และสภาพงานตามจริงได้อย่างชัดเจน เสาแบบจำลองสามเป็นจริงเสริมสามารถแสดงได้ตรงตามขนาดและระยะของโครงการจริง

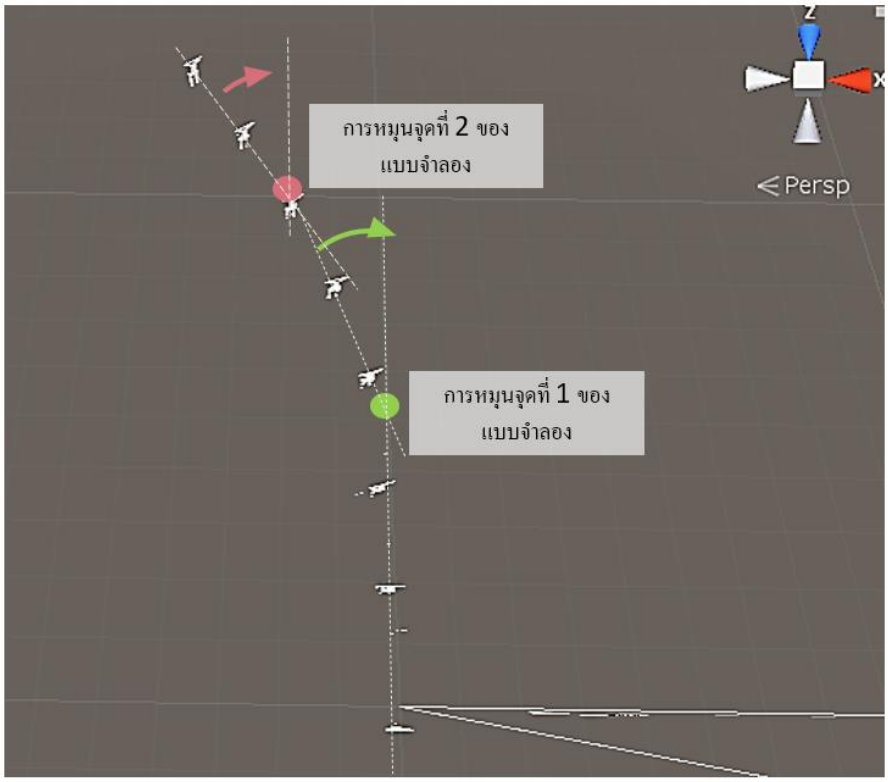


รูปที่ 5.21 ผลการแสดงซ้อนทับระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการกรณีศึกษาที่ 2

โครงการกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทางมีทางโค้งประกอบ ในช่วงต้นของวิดีโอการสำรวจโครงการซึ่งเป็นทางตรง แบบจำลองความเป็นจริงเสริมสามารถแสดงได้ตรงตามขนาดและระยะของโครงสร้างจริง แต่เมื่อวิดีโอสำรวจถึงช่วงเส้นทางโค้งการแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมเกิดการคลาดเคลื่อนดังในรูปที่ 5.22

รูปที่ 5.22 แบบจำลองความเป็นจริงเสริมเกิดความคลาดเคลื่อนในการซ้อนทับ

ผลจากการศึกษาพบว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจาก ความโค้งในเส้นทางของโครงการกรณีศึกษาที่ 2 เป็นช่วงทางโค้งที่มีความยาว ส่งผลให้การปรับการเคลื่อนที่แบบจำลองโดยการหมุนแบบจำลองตามมุมของทางโค้งเพียงครั้งเดียวนั้นไม่เพียงพอ กล่าวคือถ้าช่วงของทางโค้งมีความยาวมากขึ้นจะทำให้ต้องปรับการเคลื่อนที่แบบจำลองโดยเพิ่มจุดหมุนของแบบจำลองเพิ่มขึ้นเพื่อให้การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงซ้อนทับกับวิดีโอการสำรวจโครงการ สามารถซ้อนทับได้ตรงตลอดช่วงทางโค้งของโครงการดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 5.23



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 5.23 การเพิ่มจุดหมุนในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองในโครงการซึ่งมีเส้นทางโค้งประกอบ

5.4 การติดตามความคืบหน้าในโครงการกรณีศึกษา

แนวทางการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยใช้หลักการสังเกตความเหมือนหรือแตกต่างระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอ โดยแบบจำลองความเป็นจริงเสริมแทนสภาพงานตามแผนงาน และวิดีโอการสำรวจโครงการแทนสภาพงานตามจริง ผลการเปรียบเทียบสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการในกรณีศึกษา

รูปแบบการก่อสร้าง					
การเปรียบเทียบจำนวนของโครงสร้าง		แบบจำลองความเป็นจริงเสริมมีการแสดงโครงสร้างน้อยกว่าโครงสร้างภายในวิดีโอ	แบบจำลองความเป็นจริงเสริมมีการแสดงโครงสร้างเท่ากับโครงสร้างภายในวิดีโอ	แบบจำลองความเป็นจริงเสริมมีการแสดงโครงสร้างมากกว่าโครงสร้างภายในวิดีโอ	แบบจำลองความเป็นจริงเสริมมีการแสดงโครงสร้างมากกว่าโครงสร้างภายในวิดีโอ
การวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้า		การก่อสร้างมีความคืบหน้ามากกว่าแผนงานก่อสร้าง	การก่อสร้างมีความคืบหน้าเท่ากับ หรือ มากกว่าแผนงานก่อสร้าง	การก่อสร้างมีความคืบหน้าล่าช้ากว่าแผนงานก่อสร้าง	การก่อสร้างมีความคืบหน้าล่าช้ากว่าแผนงานก่อสร้าง

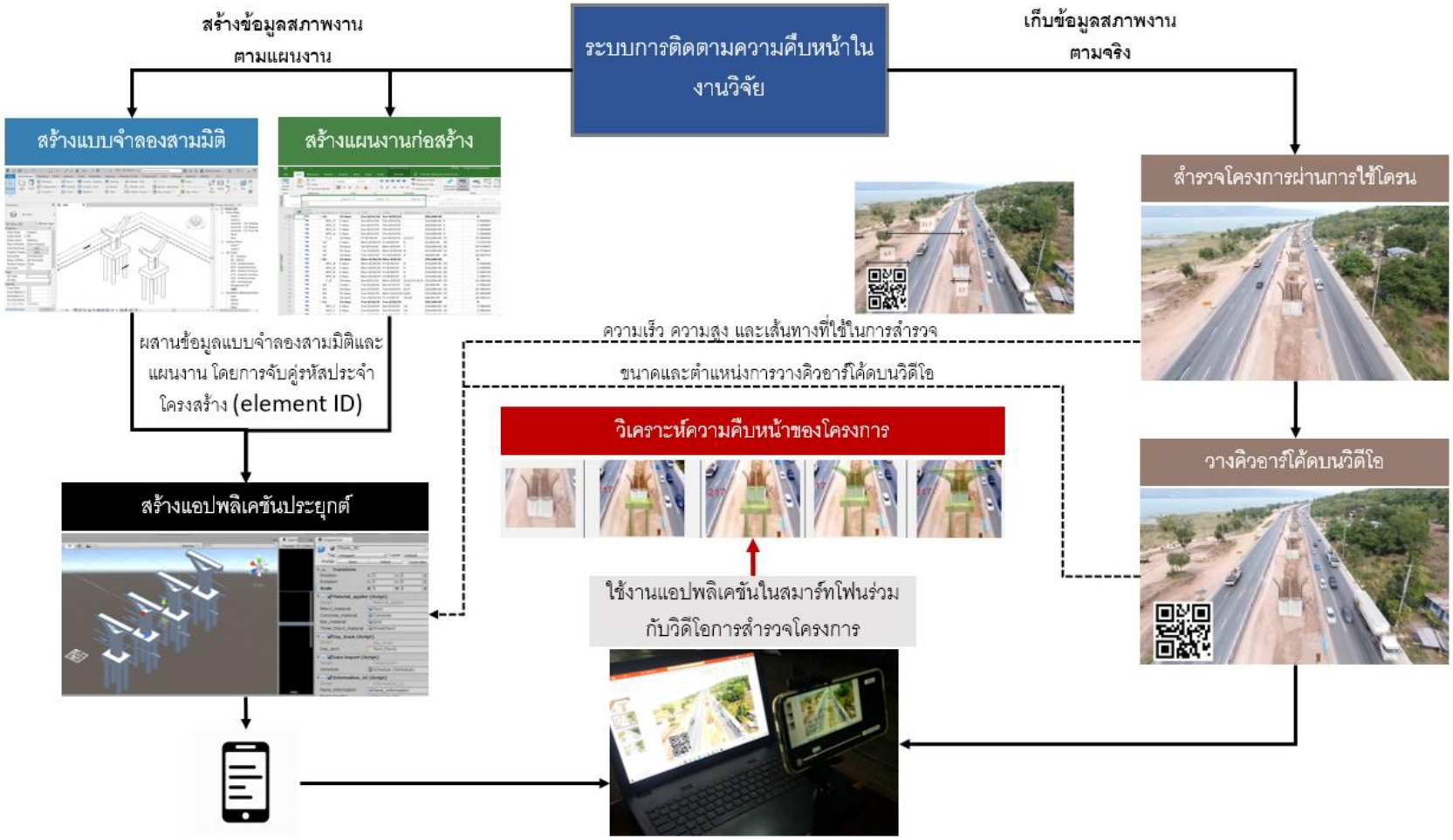
5.5 สรุปผลการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัย

งานวิจัยเสนอระบบการติดตามความคืบหน้าของโครงการก่อสร้างซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนของการสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน และการเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างและวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการดังแสดงในรูปที่ 5.24

ระบบสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงานผ่านการสร้างแบบจำลองสามมิติและแผนการทำงานของโครงการกรณีศึกษา โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ C# เพื่อเชื่อมผสานข้อมูลทั้งสองข้อมูลดังกล่าวและแสดงข้อมูลในรูปแบบของแบบจำลองความเป็นจริงเสริมด้วยการระบุพื้นที่แสดงผลผ่านคิวอาร์โค้ด ดังนั้นในกระบวนการเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริงหลังจากใช้อากาศยานไร้คนขับสำรวจโครงการและบันทึกวิดีโอ ระบบทำการวางคิวอาร์โค้ดประกอบบนวิดีโอการสำรวจโครงการเพื่อให้แบบจำลองความเป็นจริงสามารถแสดงซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ระบบทำการสร้างการเคลื่อนของแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะของโครงการและวิดีโอเพื่อให้การแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมสามารถแสดงผลได้ตลอดช่วงของการสำรวจโครงการภายในวิดีโอ

ผลจากการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับโครงการกรณีศึกษาระบบแสดงความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามแผนงานและสภาพงานตามจริงได้อย่างชัดเจน โดยการสังเกตความแตกต่างดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการ และแสดงภาพรวมในความคืบหน้าของโครงการได้ นอกจากนี้ระบบสามารถดึงข้อมูลแผนงานก่อสร้างตามโครงสร้างประกอบไปด้วย ชื่อโครงสร้าง ระยะเวลาการก่อสร้าง วันเริ่มงานก่อสร้าง วันเสร็จงานก่อสร้าง โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลซึ่งช่วยในการวิเคราะห์ความคืบหน้าเพิ่มเติมจากการสังเกตความแตกต่างระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอเพียงอย่างเดียว

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.24 แผนภาพแสดงการประยุกต์ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปการวิจัย

โครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งโดยเฉพาะโครงการก่อสร้างทางยกระดับนิยมใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับการสำรวจโครงการในระหว่างการก่อสร้างและนำผลที่ได้มาประกอบการแสดงข้อมูลความคืบหน้า เพื่อให้ผู้ควบคุมหรือผู้บริหารโครงการสามารถเห็นภาพรวมและความคืบหน้าของโครงการ แต่จากการศึกษาพบว่าวิธีการดังกล่าวไม่สามารถแสดงความคืบหน้าของโครงการได้อย่างชัดเจน เนื่องมาจากลักษณะของโครงการที่เป็นเส้นทางยาวและรูปแบบโครงสร้างซึ่งมีความเหมือนกันในทุกช่วงของโครงการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอระบบการติดตามความคืบหน้าซึ่งสามารถแสดงความแตกต่างระหว่างสภาพงานตามจริงซึ่งเป็นวิดีโอการสำรวจโครงการผ่านการใช้อากาศยานไร้คนขับ และแผนงานอย่างถูกต้องและชัดเจน

งานวิจัยเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี BIM และ AR เพื่อแสดงข้อมูลแผนงานในรูปแบบของสภาพโครงการตามแผนงาน และนำข้อมูลดังกล่าวซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการเพื่อให้ผู้บริหารโครงการมองเห็น (Visualization) ความแตกต่างระหว่างงานที่ปฏิบัติได้จริงและแผนงานที่วางไว้ โดยใช้ความแตกต่างดังกล่าวมาแสดงและวิเคราะห์ความคืบหน้าของโครงการ

งานวิจัยสร้างโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อพัฒนาระบบการติดตามความคืบหน้า โดยแบ่งระบบการติดตามความคืบหน้าเป็นสองส่วนหลักได้แก่ การสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงานและการเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริง

การสร้างข้อมูลสภาพงานตามแผนงาน งานวิจัยนี้เลือกใช้การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมตามพื้นที่ที่ระบุผ่านคิวอาร์โค้ด โดยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ดังนี้

1) Autodesk Revit สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของโครงการ
2) Microsoft Project สำหรับการสร้างข้อมูลแผนงานก่อสร้างของโครงการ
3) Vuforia Engine สำหรับการสร้างคิวอาร์โค้ดเพื่อระบุพื้นที่แสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริม
4) Unity สำหรับการผสานรวมข้อมูลแบบจำลองสามมิติ แผนงาน และคิวอาร์โค้ดเพื่อสร้างแอปพลิเคชันซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมบนวิดีโอการสำรวจโครงการ

5) Visual Studio สำหรับการเขียนภาษาคอมพิวเตอร์ C# ในการสร้างรูปแบบการทำงานของแอปพลิเคชัน การจับคู่ข้อมูลแผนงานและแบบจำลองสามมิติ การแสดงแบบจำลองตามวันที่ต้องการตรวจสอบ และการการกำหนดการเคลื่อนที่ของแบบจำลองให้สอดคล้องตามการเคลื่อนที่ของวิดีโอการสำรวจโครงการ

การเก็บข้อมูลสภาพงานตามจริงของโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยใช้การบันทึกวิดีโอการสำรวจโครงการในมุมมองคล้ายการสำรวจโครงการด้วยอากาศยานไร้คนขับ นอกจากนี้เนื่องด้วยแบบจำลองความเป็นจริงเสริมใช้การแสดงผลผ่านการระบุจุดด้วยคิวอาร์โค้ด ดังนั้นวิดีโอการสำรวจโครงการต้องวางคิวอาร์โค้ดประกอบ

ผลที่ได้จากการใช้งานแอปพลิเคชันร่วมกับวิดีโอการสำรวจโครงการจำลองถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดในงานวิจัย โดยพบว่าระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมเป็นสภาพของโครงการตามแผนงานได้ตามวันที่ต้องการตรวจสอบ สามารถแสดงซ้อนทับบนโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการได้ถูกต้อง และสามารถแสดงความแตกต่างระหว่างผลการปฏิบัติงานจริงและแผนงานได้อย่างชัดเจน แต่ต้องมีการควบคุมความเร็วให้คงที่ตลอดการสำรวจ

งานวิจัยนำระบบการติดตามความคืบหน้าดังกล่าวมาประยุกต์กับโครงการกรณีศึกษาซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างทางพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) บางปะอิน-นครราชสีมาเพื่อศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยกับโครงการก่อสร้างจริง โดยแบ่งช่วงการทดสอบใช้งานระบบเป็นสองช่วงหลักได้แก่ ช่วงของโครงการเป็นเส้นทางตรงเท่านั้น และช่วงของโครงการซึ่งมีเส้นทางโค้งประกอบ ผลที่ได้พบว่าระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการได้จริงแต่ต้องมีการปรับค่าสำคัญในการพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบตามลักษณะเส้นทางของโครงการ และตามลักษณะการสำรวจโครงการด้วยการใช้อากาศยานไร้คนขับ (ความเร็วที่ใช้ในการสำรวจ ความสูงที่ใช้ในการสำรวจ เส้นทางที่ใช้ในการสำรวจ)

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ภาษาคอมพิวเตอร์ C# ภายในระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยถูกออกแบบและทดสอบเพื่อใช้กับโครงการจำลองในห้องปฏิบัติการ และโครงการกรณีศึกษาเท่านั้น การนำระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ร่วมกับโครงการหรืองานก่อสร้างอื่นอาจต้องมีออกแบบภาษาคอมพิวเตอร์เพิ่มเติม หรือแก้ไขบางส่วนให้ถูกต้องตามลักษณะข้อมูลที่ใช้

6.3 ผลการทำงานวิจัย

1) แนวทางใหม่ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการติดตามความคืบหน้าการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง
2) ทราบแนวทางและข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี BIM และ AR กับการตรวจสอบติดตามความคืบหน้าในงานก่อสร้าง
3) แบบแผนการประยุกต์ใช้แบบจำลองสามมิติเพื่อแสดงผลในรูปแบบของแบบจำลองความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality Model)
4) รูปแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR สำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยในอนาคตควรพัฒนาแอปพลิเคชันลงในอากาศยานไร้คนขับโดยตรง ผลดังกล่าวสามารถยกระดับการใช้งานอากาศยานไร้คนขับในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง และระบบการติดตามความคืบหน้าในงานวิจัยจะสามารถนำไปใช้เป็นการติดตามความคืบหน้าตามเวลาจริงได้ (Real-time Progress Tracking with UAVs)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Image Artificial Intelligence (Image AI) ร่วมกับงานวิจัยสามารถทำให้ AI เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองความเป็นจริงเสริมและโครงสร้างภายในวิดีโอการสำรวจโครงการ และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลความคืบหน้าของโครงการได้โดยอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Agatz, N., Bouman, P., & Schmidt, M. (2018). Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone transportation science. *52*(4), 965-981. doi:10.1287/trsc.2017.0791

Avellar, S. G., Pereira, A. G., Pimenta, C. L., & Iscold, P. (2015). Multi-UAV routing for area coverage and remote sensing with minimum time. *Sensors, 15*(11). doi:10.3390/s151127783

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6*(4), 355-385.

Behnam, A., Wickramasinghe, D. C., Ghaffar, M. A. A., Vu, T. T., Tang, Y. H., & Isa, H. B. M. (2016). Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing. *Automation in Construction, 68*, 114-127. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516300826. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.002

Bosché, F. (2010). Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of as-built dimensions for dimensional compliance control in construction. *Advanced Engineering Informatics, 24*(1), 107-118. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034609000482. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.08.006

Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction, 71*, 139-152. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051630173X. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019

Chi, H.-L., Kang, S.-C., & Wang, X. (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. *Automation in Construction, 33*, 116-122. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513000022. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017

Chu, M., Matthews, J., & Love, P. E. D. (2018). Integrating mobile building information modelling and augmented reality systems: An experimental study. *Automation in Construction, 85*,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

305-316. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517301218. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.032

Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction, 94*, 257-281. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517309470. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001

Dick, A. R., Torr, P. H. S., & Cipolla, R. (2004). Modelling and interpretation of architecture from several images. *International Journal of Computer Vision, 60*(2), 111-134. Retrieved from https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029665.07652.61. doi:10.1023/B:VISI.0000029665.07652.61

Dimitrov, A., & Golparvar-Fard, M. (2014). Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections. *Advanced Engineering Informatics, 28*(1), 37-49. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034613000943. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.11.002

El-Omari, S., & Moselhi, O. (2011). Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects. *Automation in Construction, 20*(6), 699-705. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580510002098. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.001

Fanning, B., Clevenger, C., Ozbek, M., & Mahmoud, H. (2014). *Implementing bim on infrastructure: Comparison of two bridge construction projects* (Vol. 20).

Golparvar-Fard, M., Pena-Mora, F., & Savarese, S. (2009). *Application of D4AR - A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication* (Vol. 14).

Ham, Y., Han, K. K., Lin, J. J., & Golparvar-Fard, M. (2016). Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. *Visualization in Engineering, 4*(1), 1. Retrieved from https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z. doi:10.1186/s40327-015-0029-z

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hergunsel, M. F. (2011). *Benefits of building information modeling for construction managers and bim based scheduling*: Worcester Polytechnic Institute.

Ibrahim, Y. M., Lukins, T. C., Zhang, X., Trucco, E., & Kaka, A. P. (2009). Towards automated progress assessment of workpackage components in construction projects using computer vision. *Advanced Engineering Informatics, 23*(1), 93-103. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034608000591. doi:https://doi.org/10.1016/j.aei.2008.07.002

Kim, H. S., Kim, S.-K., Borrmann, A., & Kang, L. S. (2018). Improvement of realism of 4D objects using augmented reality objects and actual images of a construction site. *KSCE Journal of Civil Engineering, 22*(8), 2735-2746. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s12205-017-0734-3. doi:10.1007/s12205-017-0734-3

Lee, K. M., Lee, Y. B., Shim, C. S., & Park, K. L. (2012). Bridge information models for construction of a concrete box-girder bridge. *Structure and Infrastructure Engineering, 8*(7), 687-703. Retrieved from https://doi.org/10.1080/15732471003727977. doi:10.1080/15732471003727977

Li, H., Chan, N. K. Y., Huang, T., Skitmore, M., & Yang, J. (2012). Virtual prototyping for planning bridge construction. *Automation in Construction, 27*, 1-10. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512000659. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.04.009

Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2016). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management, 34*(1), 3-21. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026378631500143X. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.004

Lukins, T. C., & Trucco, E. (2007). *Towards automated visual assessment of progress in construction projects.* Paper presented at the BMVC.

Marzouk, M., & Zaher, M. (2015). *Tracking construction projects progress using mobile hand-held devices*.

Mawlana, M., Vahdatikhaki, F., Doriani, A., & Hammad, A. (2015). Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evaluation of elevated urban highway reconstruction

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

projects. *Automation in Construction, 60*, 25-38. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580515001983. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.005

Navon, R. (2000). Process and quality control with a video camera, for a floor-tilling robot. *Automation in Construction, 10*(1), 113-125. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580599000448. doi:https://doi.org/10.1016/S0926-5805(99)00044-8

Omar, H., Mahdjoubi, L., & Kheder, G. (2018). Towards an automated photogrammetry-based approach for monitoring and controlling construction site activities. *Computers in Industry, 98*, 172-182. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636151730492X. doi:https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.012

Omar, T., & Nehdi, M. L. (2016). Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in Construction, 70*, 143-155. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516301376. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.016

Omar, T., & Nehdi, M. L. (2018). *Automated data collection for progress tracking purposes: A review of related techniques*. Paper presented at the GeoMEast 2017: Facing the Challenges in Structural Engineering.

Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., & Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks, 72*(4), 411-458. Retrieved from https://doi.org/10.1002/net.21818. doi:10.1002/net.21818

Shanbari, H., Blinn, N., & Issa, R. R. A. (2016). Using augmented reality video in enhancing masonry and roof component comprehension for construction management students. *Engineering, Construction and Architectural Management, 23*(6), 765-781. Retrieved from https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0028. doi:10.1108/ECAM-01-2016-0028

Shin, D. H., & Dunston, P. S. (2008). Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction, 17*(7), 882-894. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508000289.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.02.012

Turkan, Y., Bosche, F., Haas, C. T., & Haas, R. (2012). Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. *Automation in Construction, 22*, 414-421. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511001956. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.10.003

Vick, S., & Brilakis, I. (2016). *A review of linear transportation construction progress monitoring techniques*. Paper presented at the The 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Osaka, Japan.

Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., & Zhou, Y. (2014). Integrating augmented reality with building information modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction, 40*, 96-105. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051300215X. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.003

Wang, X., Wang, J., Xu, B., & Shou, W. (2014). Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. *Construction Innovation, 14*(4), 453-476. Retrieved from https://doi.org/10.1108/CI-03-2014-0019. doi:10.1108/CI-03-2014-0019

Zaher, M., Greenwood, D., & Marzouk, M. (2018). Mobile augmented reality applications for construction projects. *Construction Innovation, 18*(2), 152-166. Retrieved from https://doi.org/10.1108/CI-02-2017-0013. doi:10.1108/CI-02-2017-0013

Zollmann, S., Hoppe, C., Kluckner, S., Poglitsch, C., Bischof, H., & Reitmayr, G. (2014). Augmented reality for construction site monitoring and documentation. *Proceedings of the IEEE, 102*(2), 137-154. doi:10.1109/JPROC.2013.2294314

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

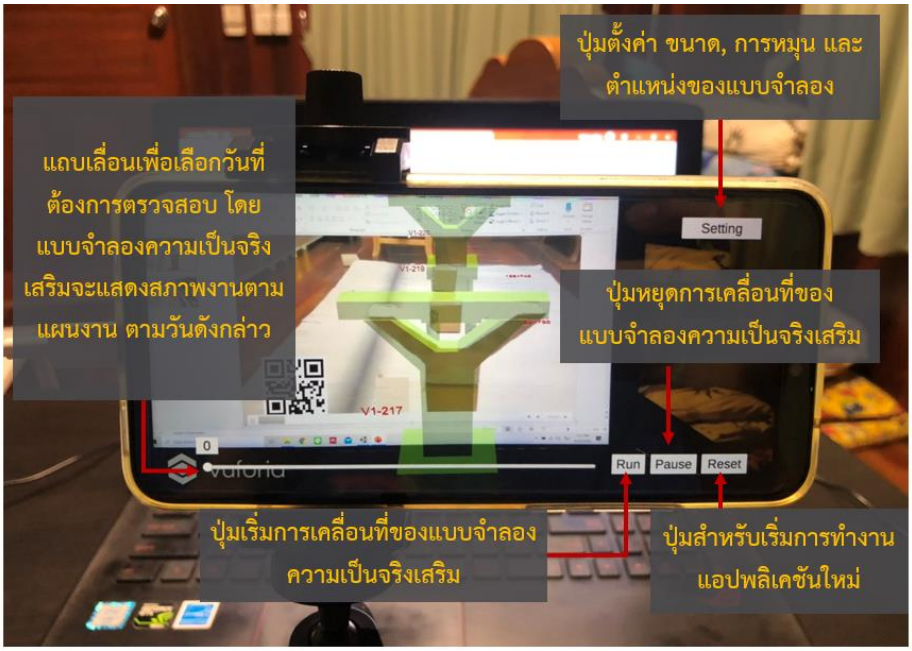
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

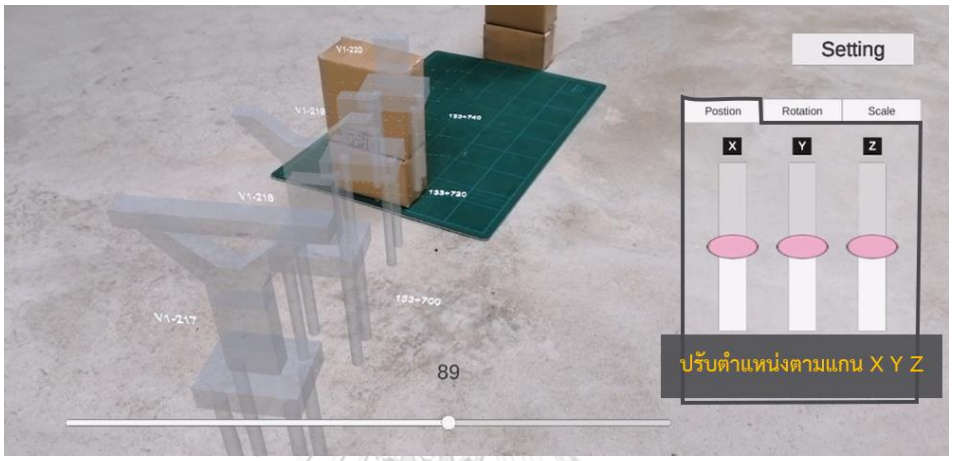
วิธีการใช้งานแอปพลิเคชันต้นแบบในงานวิจัย

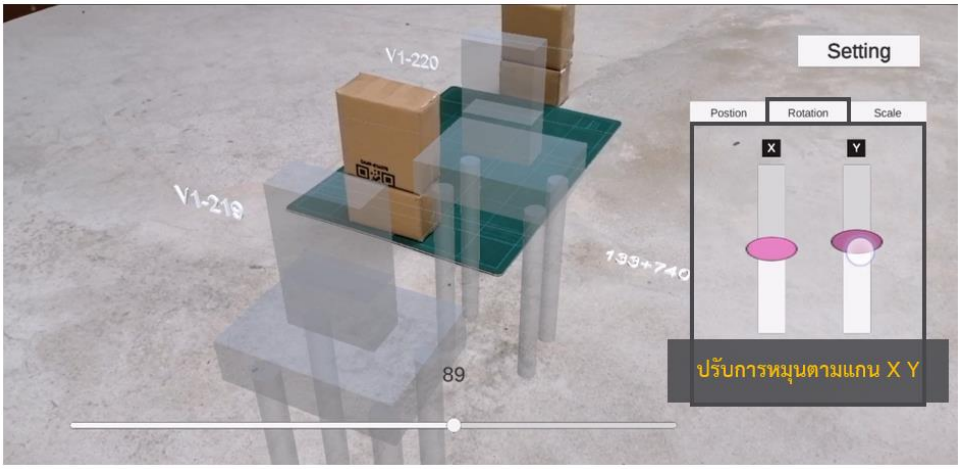
เริ่มการทำงานแอปพลิเคชันภายในสมาร์ทโฟน โดยในการใช้งานแอปพลิเคชันครั้งแรกจะต้องอนุญาตการเข้าถึงการใช้งานกล้องของสมาร์ทโฟน (Allow to access to camera) และหันกล้องเข้าหาวิดีโอซึ่งมีคิวอาร์โค้ดประกอบ โดยกล้องต้องเห็นคิวอาร์โค้ดชัดเจนเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงแบบจำลองความเป็นจริงเสริมได้โดยอัตโนมัติ

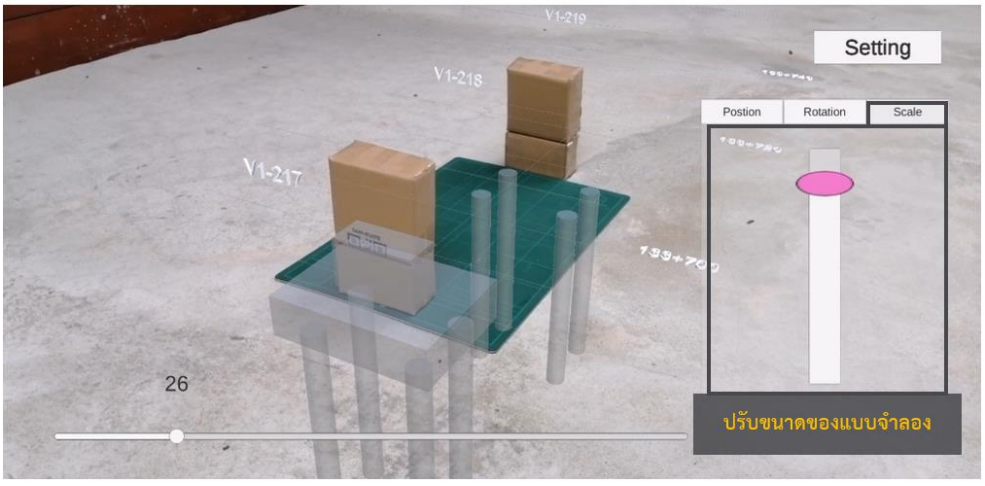
แอปพลิเคชันมีปุ่มสำหรับควบคุมการทำงานแบ่งเป็นสี่ปุ่มหลักและหนึ่งแถบเลื่อนประกอบไปด้วย 1.ปุ่มสำหรับเริ่มการเคลื่อนที่ของแบบจำลอง 2.ปุ่มหยุดการเคลื่อนที่ของแบบจำลอง 3.ปุ่มเริ่มการทำงานใหม่ของแอปพลิเคชัน 4.ปุ่มการตั้งค่าแบบจำลอง 5.แถบเลื่อนสำหรับเลือกวันที่ต้องการตรวจสอบซึ่งแบบจำลองจะแสดงสภาพของโครงการตามวันดังกล่าว



ปุ่มตั้งค่าแบบจำลองสร้างขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับให้แบบจำลองมีขนาดและตำแหน่งสอดคล้องกับโครงสร้างภายในวิดีโอ ในกรณีที่ตั้งค่าในขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันแล้วแต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเท่านั้น โดยการตั้งค่าภายในแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็นการตั้งค่าสามส่วนหลักได้แก่ การตั้งค่าตำแหน่งของแบบจำแบบจำลอง(Position) การตั้งค่าการหมุนแบบจำลอง (Rotation) และการตั้งค่าขนาดของแบบจำลอง (Scale)







ภาษาคอมพิวเตอร์ C# ในซอฟต์แวร์ Visual Studio ซึ่งใช้ในงานวิจัย

- สำหรับการปรับกล้องให้สามารถใช้งานเพื่ออ่านคิวอาร์โค้ดได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using Vuforia;

public class CameraFocusController : MonoBehaviour
{
    void Start()
    {
        var vuforia = VuforiaARController.Instance;
        vuforia.RegisterVuforiaStartedCallback(OnVuforiaStarted);
        vuforia.RegisterOnPauseCallback(OnPaused);
    }

    private void OnVuforiaStarted()
    {
        CameraDevice.Instance.SetFocusMode(
            CameraDevice.FocusMode.FOCUS_MODE_CONTINUOUSAUTO);
    }

    private void OnPaused(bool paused)
    {
        if (!paused)
        {
            CameraDevice.Instance.SetFocusMode(
               CameraDevice.FocusMode.FOCUS_MODE_CONTINUOUSAUTO);
        }
    }
}
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- สำหรับการเปิด/ปิดหน้าต่างแสดงข้อมูลแผนงานตามโครงสร้าง

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class ToPosition : MonoBehaviour
{
    public GameObject[] waypoints;
    int current = 0;
    float rotSpeed;
    public float speed;
    float WPradius = 1;
    bool isPaused = false;
    bool runPath = true;
    public Vector3 origintPosition;
    public Vector3 originRotation;
    public float originScale;
```

```
    private void Start()
    {
        originRotation = transform.localEulerAngles;
        originScale = transform.localScale.x;
    }

    void Update()
    {
        if (Vector3.Distance(waypoints[current].transform.position,
transform.position)< WPradius)
        {
            current = Random.Range(0, waypoints.Length);
            if(current >= waypoints.Length)
            {
                current = 0;
            }
        }
        transform.position = Vector3.MoveTowards(transform.position,
waypoints[current].transform.position, Time.deltaTime * speed);
    }

    public void changeRun()
    {
        speed =1.5F;
    }

    public void restart()
    {
        SceneManager.LoadScene("Prototype");
    }

    public void pauseGame()
    {
        if (isPaused)
        {
            Time.timeScale = 1;
            isPaused = false;
        }
        else
        {
            Time.timeScale = 0;
            isPaused = true;
        }
    }
}
```

- สำหรับการแสดงข้อมูลแผนงานตามโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class element : MonoBehaviour
{
    public int taskfinish;
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
    private Schedule schedule;
    private Information_UI information_UI;

    void Awake()
    {
        schedule =
GameObject.Find("Sample2").GetComponent<DataImport>().schedule;
        information_UI =
GameObject.Find("Sample2").GetComponent<Information_UI>();
    }

    void Start()
    {

    }

    void Update()
    {

    }

    void OnMouseDown()
    {
        Debug.Log(gameObject.name);
        string[] firstSplit = gameObject.name.Split('[');
        if (firstSplit.Length > 1)
        {
            string[] secondSplit = firstSplit[1].Split(']');

            foreach (ScheduleData row in schedule.dataArray)
            {
                if (secondSplit[0] == row.Element_ID)
                {
                    Debug.Log(row.Name);
                    information_UI.Show();
                    GameObject.Find("Name_UI").GetComponent<Text>().text =
row.Name;
                    GameObject.Find("Duration_UI").GetComponent<Text>().text =
row.Duration;
                    GameObject.Find("Early start_UI").GetComponent<Text>().text
= row.Early_Start;
                    GameObject.Find("Early
finish_UI").GetComponent<Text>().text = row.Early_Finish;
                    GameObject.Find("Cost_UI").GetComponent<Text>().text =
row.Cost.ToString();
                    GameObject.Find("Finish date_UI").GetComponent<Text>().text
= row.Finish_Date.ToString();
                    GameObject.Find("Element ID_UI").GetComponent<Text>().text
= row.Element_ID;
                }
            }
        }
    }
}
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- สำหรับการปรับขนาดตามแกน x y z และปรับความเอียง และปรับระยะของแบบจำลองขณะใช้งานแอปพลิเคชัน

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class ModelSetting : MonoBehaviour
{
    public GameObject panel_setting;
    public Vector3 originPosition;
    public Vector3 originRotation;
    public float originScale;

    void Start()
    {
        originRotation = transform.localEulerAngles;
        originScale = transform.localScale.x;
    }

    void Update()
    {

    }

    public void position_X_change(float value)
    {
        transform.position = new Vector3(originPosition.x + value,
transform.position.y, transform.position.z);
    }

    public void position_Y_change(float value)
    {
        transform.position = new Vector3(transform.position.x, originPosition.y
+ value, transform.position.z);
    }

    public void position_Z_change(float value)
    {
        transform.position = new Vector3(transform.position.x,
transform.position.y, originPosition.z + value);
    }

    public void rotation_X_change(float value)
    {
        transform.localEulerAngles = new Vector3(originRotation.x + value,
transform.localEulerAngles.y, transform.localEulerAngles.z);
    }

    public void rotation_Y_change(float value)
    {
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
        transform.localEulerAngles = new Vector3(transform.localEulerAngles.x,
originRotation.y + value, transform.localEulerAngles.z);
    }

    public void scale_change(float value)
    {
        transform.localScale = new Vector3(originScale + value, originScale +
value, originScale + value);
    }

    public void Show()
    {
        panel_setting.SetActive(true);

    }

    public void Hide()
    {
        panel_setting.SetActive(false);

    }

    public void toggle()
    {
        if (panel_setting.activeSelf)
        {
            Hide();
        }
        else
        {
            Show();
        }
    }
}
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- สำหรับการเชื่อมข้อมูลแผนงานและแบบจำลองสามมิติผ่านการจับคู่รหัสประจำโครงสร้าง เพื่อแสดงแบบจำลองเป็นสภาพงานตามแผนงาน

(1) จับคู่ข้อมูลผ่านรหัสประจำโครงสร้าง

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class DataImport : MonoBehaviour
{

    public Schedule schedule;

    void Awake()
    {

        foreach(ScheduleData row in schedule.dataArray)
        {
```

```
            foreach (Transform child in gameObject.transform)
            {
                string[] firstSplit = child.gameObject.name.Split('[');
                if (firstSplit.Length > 1)
                {
                    string[] secondSplit = firstSplit[1].Split(']');
                    if (secondSplit[0] == row.Element_ID)
                    {
                        element _element =
child.gameObject.GetComponent<element>();
                        _element.taskfinish = row.Finish_Date;
                    }
                }
            }
        }
    }
    void Start()
    {

    }

    void Update()
    {

    }
}
```

(2) แสดงแบบจำลองเป็นสภาพงานตามแผนงานตามวันที่ต้องการตรวจสอบ

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class day_track : MonoBehaviour
{

    public Text day_text;
    void Start()
    {
        day_change(0);
    }

    void Update()
    {

    }

    public void day_change(float day)
    {
        Debug.Log(day);
        day_text.text = day.ToString();
        foreach (Transform child in gameObject.transform)
        {
            element ele = child.gameObject.GetComponent<element>();
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
            if (ele.taskfinish <= day)
            {
                MeshRenderer meshRenderer =
child.gameObject.GetComponent<MeshRenderer>();
                if (meshRenderer != null)
                {
                    meshRenderer.enabled = true;
                }
            }
            else
            {
                MeshRenderer meshRenderer =
child.gameObject.GetComponent<MeshRenderer>();
                if (meshRenderer != null)
                {
                    meshRenderer.enabled = false;
                }
            }
        }
    }
}
```


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายสิทธิณัฐ ศรีน้อย
วัน เดือน ปี เกิด 13 พฤษภาคม 2538
วุฒิการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน 52 หมู่ 10 ต.บางม่วง อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี
รหัสไปรษณีย์ 11140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY