การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง: กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างทางยกระดับ

นายธีรพล จิรธรรมคุณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY AND POINT CLOUD IN METHOD STATEMENT PLANNING: A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT

Mr. Theerapon Jiratammakun

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 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง:กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างทางยกระดับ
โดย	นายธีรพล จิรธรรมคุณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นคร กกแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธีรพล จิรธรรมคุณ : การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง:กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างทางยกระดับ. (AN APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY AND POINT CLOUD IN METHOD STATEMENT PLANNING:A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.วัชระ เพียรสุภาพ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.ธนิต ธงทอง

ผู้วางแผนวิธีทำงานต้องอาศัยข้อมูลสภาพพื้นที่ปัจจุบันเพื่อออกแบบวิธีการทำงานที่สะท้อนกับสภาพความเป็นจริงเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้และมีความปลอดภัย อย่างไรก็ตามในโครงการประเภทโครงสร้างพื้นฐานถนนและทางยกระดับซึ่งมีลักษณะพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่และมีระยะทางมาก การวางแผนวิธีทำงานจากข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบันหรือรายละเอียดไม่ชัดเจนอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนและไม่สามารถปฏิบัติงานตามแผนงาน งานวิจัยนี้จึงเสนอกรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้ต้นแบบเสมือนช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง โดยอ้างอิงข้อมูลสภาพพื้นที่จากแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติ ที่ได้มาจากการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนบังคับ ซึ่งช่วยทำให้สามารถสร้างแบบจำลองพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว และต่อมาจึงพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงาน 3 กิจกรรมก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ของการประยุกต์กรอบแนวคิดดังกล่าวคือ ต้นแบบเสมือนวิธีจัดการพื้นที่กองเก็บวัสดุ ต้นแบบเสมือนการทำงานของเครื่องจักร และต้นแบบเสมือนขั้นตอนการขนส่งวัสดุเข้าพื้นที่ก่อสร้าง จากกรอบแนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างของโครงเหล็กเลื่อน LG-VPS (Launching Gantry - Virtual Prototyping System) ในกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปซึ่งใช้สมมติฐานวิธีทำงานและพารามิเตอร์ควบคุมเครื่องจักรบนพื้นฐานจากโครงการกรณีศึกษาในการพัฒนาระบบสร้างต้นแบบเสมือนให้สามารถแสดงวิธีทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5970201521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: Virtual Prototype, BIM, Photogrammetry, 3D Point Cloud, UAV

Theerapon Jiratammakun :

AN APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY AND POINT CLOUD IN METHOD STATEMENT PLANNING:A CASE STUDY OF ELEVATED HIGHWAY CONSTRUCTION PROJECT. Advisor: Asst. Prof. Vachara Peansupap, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. Tanit Tongthong, Ph.D.

The most up to date information of site condition is significantly important for the construction planners in order to design a working method, which will lead to the practical and safe working environment. However, in the elevated road constructions, where large areas and long distances are needed, using an outdated and inaccurate data in the construction planning can cause errors in the working method, which may result in the inability to perform the constructions as planned. This research proposed the conceptual framework of the system to support construction method by referring to the 3D point cloud model. The 3D model was obtained from aerial photographs that were taken by the Unmanned Aerial Vehicle (UAV). By using such technique, the large-scale environment model, which can demonstrate the reality and has a high accuracy, can be rapidly constructed. Then, a conceptual framework was proven in this research. The virtual prototypes of three construction activities were created. The results from implementing this framework are the virtual prototypes of stock area, machine operation and equipment transportation. By implementing this framework, this research have also developed a planning system called LG-VPS (Launching Gantry - Virtual Prototyping System), which is used to automatically generates a construction method of launching gantry in the movement to the next position.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ และรองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาช่วยตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) อาจารย์ ดร.นคร กกแก้ว (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และอาจารย์ ดร.เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย)

ขอขอบคุณทุนจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองในวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชฯ ทรงเจริญพระชนมายุครบ ๗๒ พรรษา และ ทุน ๙๐ ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่สนับสนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน อีกทั้งวิศวกรผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เกี่ยวข้องจากโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน - นครราชสีมา ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา คุณประโยชน์ที่ก่อเกิดต่อไปจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนแก่ผู้มีพระคุณทุกท่านตลอดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธีรพล จิรธรรมคุณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ปัญหาของงานวิจัย 3

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

1.5 ขอบเขตการวิจัย 5

1.5.1 ชุดโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย 6

1.5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยพัฒนา 6

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 การบริหารงานก่อสร้าง (Construction Management) 8

2.2 การติดตามสภาพโครงการ 10

2.3 ลักษณะของข้อมูลสภาพพื้นที่ 11

2.4 สภาพพื้นที่ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา (Dynamic Environment) 12

2.5 เอกสารแสดงวิธีการทำงาน (Method Statement) 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 ต้นแบบเสมือน (Virtual Prototyping) 16
2.7 อากาศยานไร้คนบังคับและภาพถ่ายทางอากาศ (UAV and Aerial Photograph) 18
2.8 กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) 19
2.8.1 ความหมาย 19
2.8.2 วิธีการสร้างกลุ่มจุดสามมิติ 19
2.9 การประมวลผลจากภาพถ่าย (Photogrammetric Processing) 21
2.9.1 Photogrammetry Technique 21
2.9.2 Structure from Motion (SfM) 22
2.9.3 การควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์ 23
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองจากภาพถ่ายทางอากาศ 23
2.10.1 ปัจจัยเกี่ยวกับมุมกล้องถ่ายภาพ 23
2.10.2 ปัจจัยเกี่ยวกับทิศทางการบิน 23
2.11 การทดสอบความแม่นยำของข้อมูลพื้นที่ 24
2.12 ตัวอย่างการใช้กลุ่มจุดสามมิติกับการบริหารโครงการ 24
2.13 สรุปผลการศึกษา 25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 27
3.1 ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics) 27
3.2 การออกแบบงานวิจัย (Research Design) 27
3.3 วิธีทำการวิจัย (Research Methods) 29
3.3.1 การศึกษาวิธีการใช้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 29
3.3.2 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษา 29
3.3.3 การกำหนดเป้าหมายของงานวิจัย 29
3.3.4 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองภาพพื้นที่ให้มีความถูกต้องเชิงมิติ 29
3.3.5 การพิสูจน์กรอบแนวคิดด้วยการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษา 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.6 การพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง 30
3.3.7 การทดลองสร้างแผนวิธีทำงานก่อสร้าง 30
3.3.8 การนำเสนอผลลัพธ์ในการประยุกต์ใช้ระบบ 31
3.4 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย 31
บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง 32
4.1 ข้อมูลอ้างอิงของพื้นที่ทดสอบ 32
4.1.1 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทดสอบ 32
4.1.2 หมุดทดสอบและหมุดควบคุม 32
4.2 การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ 35
4.2.1 อากาศยานไร้คนบังคับ 36
4.2.2 ระบบควบคุมระยะไกล 36
4.2.3 โปรแกรมประยุกต์เพื่อการควบคุม 37
4.2.4 วิธีการบินเก็บข้อมูล 40
4.2.5 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ 41
4.3 การสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ 41
4.3.1 Image Processing 41
4.3.2 Point Cloud Model 42
4.3.3 Digital Surface Model 42
4.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองสภาพพื้นที่ 43
4.5 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง 43
4.5.1 มุมของกล้องถ่ายภาพ 44
4.5.2 จำนวนทิศทางการบิน 48
4.5.3 สรุปผลการทดสอบปัจจัย 52
4.6 การทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติในการสร้างแบบจำลองของระบบ 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.7 สรุปการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง 53
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติเพื่อการวางแผนวิธีทำงาน 54
5.1 รายละเอียดของโครงการกรณีศึกษา 54
5.1.1 วัตถุประสงค์โครงการ 54
5.1.2 เงื่อนไขลักษณะทางกายภาพ 55
5.1.3 ความเหมาะสมในการเลือกโครงการกรณีศึกษา 55
5.2 รายละเอียดของกิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษา 55
5.2.1 กรณีศึกษาที่ 1: งานจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน 56
5.2.2 กรณีศึกษาที่ 2: งานติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่ 58
5.2.3 กรณีศึกษาที่ 3: การทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนขนาดใหญ่ 59
5.3 การสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างและแบบจำลองเครื่องจักร 61
5.3.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน 61
5.3.2 รถปั้นจั่นเคลื่อนที่ 61
5.3.3 รถบรรทุกชิ้นส่วน 62
5.4 การสังเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ 63
5.4.1 สถานภาพปัจจุบันของงานโครงสร้าง 63
5.4.2 พื้นผิวและค่าระดับ 64
5.4.3 พื้นที่กองเก็บวัสดุ 66
5.4.4 องค์ประกอบนอกเขตพื้นที่ก่อสร้าง 66
5.5 ผลลัพธ์การทำวิจัย 67
5.5.1 กรณีศึกษาที่ 1: งานจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน 67
5.5.2 กรณีศึกษาที่ 2: งานติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่ 70
5.5.3 กรณีศึกษาที่ 3: การทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนขนาดใหญ่ 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.5.4 อภิปรายผลลัพธ์ 78
5.6 สรุปผลการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติกับการวางแผนวิธีทำงาน 78
บทที่ 6 ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง 80
6.1 หลักการของการพัฒนาระบบ 80
6.2 โครงสร้างของระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง 81
6.2.1 แบบจำลองสภาพพื้นที่ 81
6.2.2 องค์ประกอบนอกเขตพื้นที่ก่อสร้าง 83
6.2.3 แบบจำลอง BIM 83
6.2.4 โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง 85
6.2.5 โมดูลคำนวณเส้นทาง 86
6.2.6 โมดูลการแสดงสถานะ 86
6.2.7 ผลลัพธ์ที่คาดหวัง 86
6.3 กรณีศึกษาที่ 4: การทำงานของโครงเหล็กเลื่อน 87
6.3.1 การติดตั้งคานสะพานด้วยโครงเหล็กเลื่อน 87
6.3.2 ศึกษาเอกสารแผนวิธีทำงาน 87
6.3.3 ที่มาของปัญหาการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง 89
6.4 ขั้นตอนการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง 90
6.4.1 การสังเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ 90
6.4.2 การสร้างแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อน 92
6.4.3 การพัฒนาโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง 95
6.4.4 การพัฒนาโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงาน 96
6.4.5 การคำนวณเทียบพารามิเตอร์ควบคุมการทำงาน 98
6.5 ต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงานก่อสร้าง 100
6.5.1 ส่วนแบบจำลองสภาพพื้นที่ 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5.2 แบบจำลองเครื่องจักรและชิ้นส่วนโครงสร้าง 101
6.5.3 การแสดงขั้นตอนวิธีทำงานก่อสร้าง 102
6.6 ข้อจำกัดในการใช้ระบบวางแผนวิธีทำงาน 104
6.7 สรุปการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง 105
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 106
7.1 สรุปผลงานวิจัย 106
7.2 ผลการทำงานวิจัย 107
7.3 ข้อกำจัดและข้อเสนอแนะ 108
7.4 แนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต 109
รายการอ้างอิง 110
บรรณานุกรม 114
ประวัติผู้เขียน 116

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบวิธีการใช้เครื่องสแกนสามมิติและการประมวลผลจากภาพถ่าย 10
ตารางที่ 2.2 สรุปการวิเคราะห์ชนิดข้อมูลสภาพพื้นที่ (Bhatla et al., 2012; Łabuz, 2016)..... 11
ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลหมุดพิกัดอ้างอิงในพื้นที่ทดสอบ 33
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Application ส่วนควบคุมการบิน 38
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Application ส่วนควบคุมการถ่ายภาพ..... 39
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าพิกัดของหมุดควบคุม..... 42
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบมุมกล้องกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร)..... 44
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบมุมกล้องกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร) 44
ตารางที่ 4.7 สรุปเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบปัจจัยมุมกล้องถ่ายภาพ 47
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบจำนวนทิศทางการบินกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร)..... 48
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบจำนวนทิศทางการบินกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร)..... 48
ตารางที่ 4.10 สรุปเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบปัจจัยจำนวนทิศทางการบิน 51
ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร) 52
ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร)..... 53
ตารางที่ 6.1 รายการองค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 4..... 89
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับที่สังเคราะห์ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่..... 92
ตารางที่ 6.3 ชุดคำสั่งให้แบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนทำงาน (หน่วย: เมตร)..... 94

Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นการบริหารในงานก่อสร้าง 9

รูปที่ 2.2 งานขุดตัดดินทำทางระบายน้ำชั่วคราว 13

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลา 11 วัน 13

รูปที่ 2.4 แผนที่เส้นชั้นความสูงแสดงงานก่อสร้างฐานราก 14

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภาพ Method Statement ของงานเสาเข็มเจาะด้วยวิธีเจาะเปียก 15

รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นการพัฒนาของแบบจำลองสี่มิติ (4D Model) 17

รูปที่ 2.7 การเทียบจุดเพื่อระบุตำแหน่งพิกัดของวัตถุจากสองภาพถ่าย 22

รูปที่ 2.8 แบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามและสี่มิติ 25

รูปที่ 3.1 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 28

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งหมุดตัวแทนข้อมูลทางสูง 34

รูปที่ 4.2 ตำแหน่งหมุดตัวแทนข้อมูลทางราบ 35

รูปที่ 4.3 ตำแหน่งหมุดควบคุมในพื้นที่ทดสอบ 35

รูปที่ 4.4 ระบบมอเตอร์ชดเชยแรงเฉื่อย (Gimbal) 36

รูปที่ 4.5 อากาศยานไร้คนบังคับและระบบควบคุม 37

รูปที่ 4.6 การตั้งค่าแนววิถีการบินเก็บข้อมูลในพื้นที่ทดสอบ 41

รูปที่ 4.7 แบบจำกลุ่มจุดสามมิติของพื้นที่ทดสอบ 42

รูปที่ 4.8 แบบจำลองพื้นผิวของพื้นที่ทดสอบ 43

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับมุมกล้องถ่ายภาพ 45

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับมุมกล้องถ่ายภาพ 45

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับมุมกล้องถ่ายภาพ 46

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับมุมกล้องถ่ายภาพ 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับจำนวนทิศทางการบิน 49
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับจำนวนทิศทางการบิน 49
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับจำนวนทิศทางการบิน 50
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับจำนวนทิศทางการบิน 50
รูปที่ 5.1 เส้นทางขนส่งลำเลียงวัสดุและไหล่เขา 57
รูปที่ 5.2 การขนส่งและจุดกองเก็บชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน 57
รูปที่ 5.3 รถปั้นจั่นกำลังทำงานยกชิ้นส่วน 57
รูปที่ 5.4 โครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ และคานสะพานชิ้นส่วนสำเร็จรูป 58
รูปที่ 5.5 กลุ่มเครื่องจักรที่ทำงานร่วมกันในงานยกชิ้นส่วนติดตั้ง 58
รูปที่ 5.6 รถปั้นจั่นกำลังทำงาน 59
รูปที่ 5.7 ผังเส้นทางขนส่งของโครงการกรณีศึกษาที่ 2 60
รูปที่ 5.8 ถนนดินสำหรับขนส่งชิ้นส่วนสะพาน 60
รูปที่ 5.9 แบบจำลองชิ้นส่วนคานสะพาน 61
รูปที่ 5.10 แบบจำลองปั้นจั่นเคลื่อนที่ 62
รูปที่ 5.11 แบบรถขนส่งวัสดุในกรณีศึกษา 63
รูปที่ 5.12 เสาสะพานในแบบจำลองสภาพพื้นที่ 64
รูปที่ 5.13 แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงกิจกรรมก่อสร้าง 64
รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงกิจกรรมก่อสร้าง 65
รูปที่ 5.15 ภาพหน้าตัดที่ได้จากแบบจำลอง 65
รูปที่ 5.16 โครงสร้างร่องระบายน้ำที่กึ่งกลางถนนทางหลวง และแผงกั้น 66
รูปที่ 5.17 ต้นแบบเสมือนงานกองเก็บวัสดุ 67
รูปที่ 5.18 ภาพเนินดินที่กีดขวางการทำงานในต้นแบบเสมือน 68
รูปที่ 5.19 แผนที่เส้นชั้นความสูงจากต้นแบบเสมือน 68
รูปที่ 5.20 ต้นแบบเสมือนจำลองการวางชิ้นส่วนสะพานและเส้นทางจราจร 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.21 ต้นแบบเสมือนเครื่องจักรกำลังยก Pier Segment (ด้านบน)..... 71
รูปที่ 5.22 ต้นแบบเสมือนเครื่องจักรกำลังยก Pier Segment (ด้านข้าง)..... 71
รูปที่ 5.23 แผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณถนนทางเข้าชั่วคราว..... 73
รูปที่ 5.24 แผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณถนนทางเข้าชั่วคราว..... 73
รูปที่ 5.25 แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขในกรณีศึกษา..... 74
รูปที่ 5.26 ต้นแบบเสมือนขั้นตอนการเลี้ยวเข้าถนนชั่วคราว..... 75
รูปที่ 5.27 ภาพตัดขวางของถนนหน้าทางเข้า..... 75
รูปที่ 5.28 ภาพมุมมองคนขับรถ..... 75
รูปที่ 5.29 ต้นแบบเสมือนการเลี้ยวรถเข้าโค้งหักศอก..... 76
รูปที่ 5.30 ต้นแบบเสมือนการเลี้ยวของรถบรรทุกในแบบจำลองสภาพพื้นที่..... 77
รูปที่ 5.31 แบบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนจากข้อมูลแบบจำลองสภาพพื้นที่..... 77
รูปที่ 6.1 โครงสร้างของระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง..... 81
รูปที่ 6.2 กระบวนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ..... 82
รูปที่ 6.3 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองเครื่องจักร..... 84
รูปที่ 6.4 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้าง..... 84
รูปที่ 6.5 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองโครงสร้างงานชั่วคราว..... 85
รูปที่ 6.6 ส่วนหน้าต่างเพื่อควบคุมแบบจำลองพาราเมตริก..... 85
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างเอกสารแผนวิธีเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนในกรณีศึกษา..... 88
รูปที่ 6.8 รถขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานให้โครงเหล็กเลื่อนยกติดตั้ง..... 89
รูปที่ 6.9 โครงเหล็กเลื่อนขณะกำลังเคลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไป..... 90
รูปที่ 6.10 แบบรายละเอียดโครงเหล็กเลื่อน..... 90
รูปที่ 6.11 แบบจำลองเสาโครงสร้างสะพาน..... 91
รูปที่ 6.12 ตำแหน่งอ้างอิงเสาโครงสร้างสะพาน..... 91
รูปที่ 6.13 แบบจำลองสามมิติโครงเหล็กเลื่อน..... 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6.14 หน้าต่างควบคุมพารามิเตอร์ของแบบจำลอง 93
รูปที่ 6.15 การปรับเปลี่ยนมุมมองของแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อน 95
รูปที่ 6.16 โครงสร้างของโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง 96
รูปที่ 6.17 เวกเตอร์คำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กเลื่อน..... 97
รูปที่ 6.18 ตำแหน่งของพารามิเตอร์ควบคุมโครงเหล็กเลื่อน 99
รูปที่ 6.19 โครงสร้างของโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง (ใหม่) 100
รูปที่ 6.20 แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงเส้นทางการทำงานของโครงเหล็กเลื่อน 101
รูปที่ 6.21 ส่วนโปรแกรมคำนวณการเลี้ยวโค้ง 102
รูปที่ 6.22 ส่วนโปรแกรมคำนวณค่าความชันระหว่างการทำงาน 102
รูปที่ 6.23 ส่วนโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองเครื่องจักร 103
รูปที่ 6.24 ต้นแบบเสมือนและส่วนแสดงผล 103
รูปที่ 6.25 หน้าต่างรวมของระบบ LG-VPS 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง (Construction Method Planning) เป็นขั้นตอนที่กำหนดวิธีและควบคุมการทำงานซึ่งมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เนื่องจากแผนวิธีทำงาน (Method Statement) หรือแผนวิธีปลอดภัยในการทำงาน (Safe Work Method Statement) ใช้ระบุสิ่งที่เป็นอันตราย ประเมินความเสี่ยง และควบคุมความเสี่ยงเหล่านั้น (OFSC, 2010) ดังนั้นการวางแผนวิธีทำงานจึงมีส่วนสำคัญต่อความสำเร็จของกิจกรรมก่อสร้างให้สามารถปฏิบัติงานเสร็จตามระยะเวลาและทรัพยากรที่วางแผนไว้

ในการเลือกวิธีทำงานก่อสร้างต้องอาศัยข้อมูลสภาพแวดล้อมทางกายภาพของพื้นที่ทำงาน (Site Condition Data) ซึ่งประกอบไปด้วย ลักษณะพื้นผิว ทางลาดชัน เส้นทางถนนชั่วคราว ความสูงต่ำของค่าระดับดินจากงานปรับพื้นที่ ขนาดของระบบค้ำยัน งานโครงสร้างชั่วคราว พื้นที่จุดกองเก็บวัสดุ รวมไปถึงสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ข้างเคียง โดยฝ่ายสำรวจปฏิบัติการเก็บข้อมูลพื้นที่และจัดทำรายงานเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนวางแผนและเลือกวิธีก่อสร้างต่อไป

ข้อมูลสภาพพื้นที่ที่ไม่สะท้อนสภาพปัจจุบันที่แท้จริงหรือมีรายละเอียดที่ไม่เพียงพอทำให้การวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างเกิดข้อจำกัดขึ้น ตัวอย่างเช่น แผนวิธีทำงานแบบภาพสองมิติที่ให้รายละเอียดเบื้องต้นของวิธีการทำงานเพื่อใช้สื่อสารในขั้นตอนการวางแผนซึ่งไม่ได้มีการอ้างอิงสภาพที่แท้จริงของพื้นที่ก่อสร้างในทุกๆจุด การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ทำการก่อสร้างหรือสภาพพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้แผนวิธีการทำงานเดิมมีความคลาดเคลื่อนจนไม่สามารถทำการก่อสร้างจริงได้

แนวคิดการใช้ต้นแบบเสมือน (Virtual Prototype) เพื่อจำลองขั้นตอนการทำงานก่อสร้างบนแบบจำลองสามมิติ องค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้างที่มีการรายงานจากฝ่ายสำรวจจะนำมาสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่ แบบจำลองแผนงานก่อสร้างนี้สามารถแสดงรายละเอียดในภาพสามมิติซึ่งใช้ทดสอบการทำงานหรือปรับเปลี่ยนแผนงานได้ในเวลาอันสั้น

อย่างไรก็ตามในกรณีที่พื้นที่ก่อสร้างมีขนาดใหญ่และมีสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา (Dynamic Environment) ทำให้มีปริมาณข้อมูลสภาพพื้นที่ซึ่งต้องสำรวจมากขึ้น โดยการสำรวจพื้นที่ด้วยวิธีการภาคพื้นดิน (Terrestrial Surveying) ในปัจจุบันอาศัยแรงงานคนเป็นหลักอาจมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้น นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน มีค่าใช้จ่ายสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อต้องเก็บข้อมูลซ้ำ รวมไปถึงการที่รายละเอียดของข้อมูลที่ได้อาจขาดตกบกพร่องหรือไม่เป็นปัจจุบัน

งานวิจัยในอดีตมีการนำภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม (Ahmad et al., 2016) มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสภาพพื้นที่ก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีระยะทางมาก ภาพถ่ายทางอากาศแสดงข้อมูลพื้นที่ในลักษณะภาพมุมสูง ซึ่งให้รายละเอียดในการใช้ติดตามความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้างได้ ในปัจจุบันการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้อากาศยานไร้คนบังคับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) ที่ติดตั้งกล้องภาพถ่ายความละเอียดสูง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาเก็บข้อมูลไปได้มาก อย่างไรก็ตามข้อมูลที่เก็บได้ยังคงเป็นภาพถ่ายสองมิติที่ให้รายละเอียดที่จำกัด เนื่องจากไม่สามารถแสดงถึงค่าระดับความสูงจึงไม่สามารถสร้างนำมาใช้อ้างอิงสภาพพื้นที่ก่อสร้างได้อย่างครบถ้วน

ในงานสำรวจที่ต้องการความละเอียดสูง มีการนำเครื่องเลเซอร์สแกน (Laser Scanner) มาใช้ในงานสำรวจสภาพแวดล้อมพื้นที่ ด้วยการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำการวัดและบันทึกพื้นผิวของวัตถุโดยรอบเป็นข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ซึ่งแต่ละจุดแสดงพื้นผิววัตถุในระบบพิกัดฉาก แต่ทว่าเครื่องเลเซอร์สแกนยังมีข้อจำกัดเรื่องราคาที่สูงและมีน้ำหนักมาก ดังนั้นการนำไปใช้เก็บข้อมูลกับพื้นที่ขนาดใหญ่อาจไม่เหมาะสม และการนำไปติดตั้งบนอากาศยานไร้คนบังคับยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก แต่มีความเป็นไปได้ที่จะลดค่าใช้จ่ายสำหรับงานสำรวจได้เมื่อนำไปใช้กับพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่

ทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหาในส่วนนี้คือ เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry Technique) เพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติที่ใช้แสดงข้อมูลของพื้นผิววัตถุในพื้นที่สำรวจ และนำไปสร้างแบบจำลองพื้นที่โครงการแทนการเก็บข้อมูลด้วยการสำรวจแบบทั่วไป วิธีการดังกล่าวสามารถแก้ไขข้อจำกัดทางกายภาพของเครื่องมือที่มีราคาสูง รวมถึงลดเวลาและค่าใช้จ่ายในงานสำรวจเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อสร้างได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการการประมวลผลจากภาพถ่ายคือแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติของสภาพแวดล้อมพื้นที่ (Real Environment Point Cloud Model)

แบบจำลองสภาพพื้นที่ของโครงการก่อสร้างในรูปกลุ่มจุดสามมิติเป็นตัวแทนสภาพพื้นที่ ณ เวลาที่ทำการเก็บข้อมูลภาพถ่าย แบบจำลองสภาพพื้นที่ในต้นแบบเสมือนช่วยยกระดับความสามารถในการสื่อสารในขั้นตอนการวางแผน เพื่อให้แผนวิธีทำงานสะท้อนกับสภาพจริงของพื้นที่มากขึ้น การปรับเปลี่ยนแผนงานสามารถทำได้จากประโยชน์ของการใช้ต้นแบบเสมือน

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

การวางแผนวิธีการทำงาน (Method Statement) ของระดับกระบวนการก่อสร้าง (Process Level) ซึ่งแผนวิธีการทำงานก่อสร้างอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงาน งานที่ทำ เครื่องมือเครื่องจักร และสิ่งแวดล้อมพื้นที่ทำงาน เพื่อลดหรือขจัดความเสี่ยงในงานก่อสร้าง (Borys, 2012) เมื่อมีความเห็นชอบร่วมกันแล้ว ฝ่ายปฏิบัติงานก่อสร้างจะรับแผนนั้นไปใช้ในกระบวนการทำงานต่อไป

ในอดีตมีการใช้แผนภาพสองมิติเพื่ออธิบายแผนวิธีทำงานก่อสร้างลงในเอกสาร รายละเอียดของเครื่องจักรและพื้นที่โดยรอบปรากฏในแบบสองมิติที่ให้รายละเอียดที่จำกัด การใช้ภาพแปลนอธิบายพื้นที่โดยรอบ หรือภาพด้านข้างเพื่ออธิบายระดับความสูง มีความเพียงพอในการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจ อย่างไรก็ตามแผนวิธีการทำงานยังคงมีรายละเอียดจำกัดตามแต่ผู้เขียนแบบกำหนดซึ่งอาจมีข้อมูลที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงทำให้แผนวิธีทำงานนั้นไม่สามารถนำไปปฏิบัติการได้

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนในการวางแผนงาน ทำให้เกิดความเข้าใจและมองเห็นภาพ เช่น การประยุกต์ใช้แบบภาพสองมิติ แสดงแบบพื้นที่ของเขตก่อสร้าง การใช้แบบสามมิติ เพื่อขยายการรับรู้มิติความสูง และการใช้แบบจำลองสามมิติกับเวลา เพื่ออธิบายเป็นภาพขั้นตอนการทำงานได้ชัดเจน ซึ่งรวมเรียกว่าต้นแบบเสมือน (Virtual Prototype) ช่วยให้การวางแผนวิธีการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Wang, 2003) ซึ่งงานวิจัยในอดีตมีการพัฒนาระบบเพื่อจำลองขั้นตอนการทำงานก่อสร้างภายใต้สิ่งแวดล้อมเสมือน (Virtual Reality) เป็นแนวทางใหม่ในการวางแผนงานก่อสร้าง เพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจของผู้วางแผน โดยสามารถมองเห็นภาพเสมือนของวิธีการก่อสร้าง ขั้นตอนการทำงาน และการใช้ทรัพยากร (Jokkaw, 2003) ต่อมามีการพัฒนาให้การวางแผนวิธีก่อสร้างง่ายยิ่งขึ้นด้วยการใช้ระบบจากเกมที่มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่สะดวกและเข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น (Li et al., 2015)

การใช้ต้นแบบเสมือนจำลองสถานการณ์ยังมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ เนื่องจากแบบก่อสร้างที่พัฒนาจากฝ่ายออกแบบและข้อมูลสภาพพื้นที่โครงการเป็นข้อมูลที่ได้มาจากรายงานฝ่ายสำรวจมีลักษณะของข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบันและมีรายละเอียดที่จำกัดโดยเฉพาะองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic Components) ซึ่งไม่ปรากฏบนแบบก่อสร้าง ดังนั้นการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่ทำงานก่อสร้างที่เป็นปัจจุบันและมีความครบถ้วนสมบูรณ์ทำให้การสร้างต้นแบบเสมือนสะท้อนกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ทำให้วางแผนและเลือกวิธีก่อสร้างได้อย่างแม่นยำและปลอดภัย

การใช้แบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud Model) แทนข้อมูลสภาพแวดล้อมพื้นที่ทำงาน แต่ละจุดเป็นตัวแทนแสดงพื้นผิวของวัตถุใดๆที่สำรวจในระบบพิกัดสามมิติ แสดงค่าพิกัดของสิ่งก่อสร้างข้างเคียง โครงสร้างชั่วคราว อุปสรรคสิ่งกีดขวางต่างๆ ค่าระดับดินปัจจุบัน ซึ่งสามารถนำไปใช้วัดระยะ ระบุพื้นที่ว่างในการทำงาน วิเคราะห์เพื่อแก้ไขอุปสรรคที่มีผลต่อกิจกรรมก่อสร้างในพื้นที่นั้นๆ (Fathi และ Brilakis, 2011)

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง โดยเริ่มต้นจากการพัฒนากรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ เพื่อนำใช้งานร่วมกับต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงานก่อสร้างในกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ ต้นแบบเสมือนที่ได้จะสะท้อนสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ก่อสร้างได้มากกว่า ทำให้การวางแผนงานหรือการวิเคราะห์ทางเลือกมีพื้นฐานจากข้อมูลสภาพพื้นที่ที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ LG-VPS ซึ่งเป็นระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนในกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป โดยระบบมีการอ้างอิงข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับจากแบบจำลองสภาพพื้นที่เพื่อใช้ในการวางแผนวิธีการทำงานโดยอัตโนมัติ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) พัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ และนำเสนอวิธีการควบคุมปัจจัยเหล่านั้นลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสภาพพื้นที่

2) พิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยต้นแบบเสมือน และพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

3) พัฒนาระบบ “LG-VPS” เพื่อช่วยวางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนแบบอัตโนมัติในกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาวิธีการใช้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และการสร้างกลุ่มจุดสามมิติจากภาพถ่าย

2) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติในงานทางวิศวกรรมโยธา และการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

3) ลงพื้นที่เป้าหมายกรณีศึกษางานโครงสร้างพื้นฐานโครงการก่อสร้างงานถนนและทางยกระดับ เพื่อให้ทราบถึงหลักการทำงานงานจริง ข้อจำกัด และปัญหาที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการวางแผนวิธีทำงาน งานวิจัยนี้ได้ทำการ

- สัมภาษณ์วิศวกรผู้ควบคุมและวางแผนโครงการ
- ศึกษาแบบก่อสร้าง และเอกสารแผนวิธีทำงานก่อสร้าง
- สำรวจพื้นที่โครงการเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพ
- สัมภาษณ์ผู้ออกแบบและควบคุมเครื่องจักร

4) วิเคราะห์ปัญหา ข้อจำกัด ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในกรณีศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบสนับสนุนเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

5) พัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

- พัฒนาส่วนแบบจำลองสภาพพื้นที่ ทำการทดสอบและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ เพื่อพัฒนาวิธีการลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
- พัฒนาส่วนแบบจำลอง Building Information Model (BIM) โดยมีพื้นฐานจากโครงการกรณีศึกษา
- พัฒนาองค์ประกอบสนับสนุนซึ่งประกอบไปด้วย โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง โมดูลคำนวณเส้นทาง และโมดูลการแสดงสถานะ

6) ทดสอบระบบกับกิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษา เพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

7) สรุปผล นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้งานวิจัยกับงานก่อสร้างอื่นต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นนำเสนอวิธีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่โครงการด้วยกลุ่มจุดสามมิติ เพื่อใช้ในการวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้างบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5.1 ชุดโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

1) Agisoft PhotoScan Photogrammetric Processing 1.3.3

2) Ground Station Pro (DJI GS PRO)

3) Autodesk Revit 2018

4) Autodesk Navisworks 2018

5) AutoCAD Civil 3D - Vehicle Tracking 2018

1.5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยพัฒนา

1) ชุดอากาศยานไร้คนบังคับชนิด 4 ใบพัด DJI Mavic Pro

2) อุปกรณ์ควบคุม Apple iPad mini 4, iPad 2017

3) กล้องสำรวจสถานีรวม Leica Viva TS15

4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนบังคับชนิด 4 ใบพัด DJI Mavic Pro และโปรแกรมควบคุม Ground Station Pro และสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมพื้นที่ด้วยวิธี Structure from Motion ผ่านโปรแกรม Agisoft Photoscan

ในขั้นตอนการพัฒนาวิธีการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ งานวิจัยนี้ได้ใช้พื้นที่โดยรอบหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นพื้นที่ทดสอบ เพื่อหาคุณภาพของแบบจำลองสภาพแวดล้อมพื้นที่โดยประเมินจากความคลาดเคลื่อนเชิงมิติเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากพื้นที่จริงด้วยกล้องสำรวจสถานีรวม ค่าทางสถิติที่ใช้เป็นตัวแทนถึงความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองคือรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับค่าพิกัดบนแกน X Y และ Z จากหมุดทดสอบที่ใช้อ้างอิงกับค่าพิกัดควบคุม

งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ก่อสร้างประเภทงานถนนและทางยกระดับ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่และมีระยะทางมาก การใช้อากาศยานไร้คนบังคับจึงมีความเหมาะสมในการเก็บข้อมูล โดยเลือกพื้นที่ของโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 สายบางปะอิน-สระบุรี-นครราชสีมา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) แนวทางการใช้อากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้างที่เหมาะสมในการนำไปใช้วางแผนวิธีทำงาน

2) ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานในงานก่อสร้างประเภทโครงสร้างพื้นฐาน

3) ระบบ LG-VPS สนับสนุนการวางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนในกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในงานวิจัยเพื่อให้เห็นถึงภาพรวมทั้งหมด เนื้อหาจะประกอบไปด้วย การบริหารงานก่อสร้าง การติดตามสภาพโครงการ ลักษณะของข้อมูลสภาพพื้นที่ และสภาพพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา เอกสารแสดงวิธีการทำงาน ต้นแบบเสมือน อากาศยานไร้คนบังคับและภาพถ่ายทางอากาศ กลุ่มจุดสามมิติ การประมวลผลภาพถ่าย ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง การทดสอบความแม่นยำของข้อมูลพื้นที่ ตัวอย่างการใช้กลุ่มจุดสามมิติกับการบริหารโครงการ และสรุปผลการศึกษา

2.1 การบริหารงานก่อสร้าง (Construction Management)

ในภาคอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง การบริหารงานก่อสร้างมีวัตถุประสงค์เพื่อการวางแผนและควบคุมทรัพยากรภายในกรอบของโครงการ ซึ่งมีความแตกต่างไปจากภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้ทรัพยากรเพื่อการผลิตจำนวนมากเป็นหลัก

การใช้องค์ความรู้เพื่อควบคุมและวางแผนการใช้ทรัพยากรภายในโครงการก่อสร้างซึ่งประกอบไปด้วย เงินทุน แรงงาน เครื่องจักร และ วัสดุ ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดเป็นหน้าที่สำคัญของผู้จัดการโครงการ การวางแผนการทำงานที่พิจารณาถึง เวลา ต้นทุน คุณภาพ และความปลอดภัย จึงเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการบริหาร

Halpin และ Senior Bolivar (2012) อธิบายลำดับขั้นการบริหารในงานก่อสร้างด้วย รูปที่ 2.1 ซึ่งการบริหารงานก่อสร้างจำแนกด้วยลำดับขั้น (Hierarchy) ตามขอบเขตและรายละเอียดของการจัดการงานในแต่ระดับ ดังนี้

1) ระดับองค์กร (Organization) กำหนดขอบเขตหน้าที่ระดับบริหาร โครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสำนักงานใหญ่และสำนักงานที่หน้างาน โดยสนใจวางแผนในระดับต้นทุนรวม ระยะเวลาโครงการ ผลตอบแทน กระแสเงินสด ความก้าวหน้าของงาน

2) ระดับโครงการ (Project Level) มีรายละเอียดเรื่องสัญญา แบบก่อสร้าง รายการวัสดุ การแจกแจงรายการกิจกรรมภายในโครงการ การควบคุมต้นทุน เวลา และทรัพยากร

3) ระดับกิจกรรม (Activity Level) การวางแผนให้ทำงานสำเร็จตามแผนโครงการให้เป็นไปตามระยะเวลา ค่าใช้จ่าย ทรัพยากร และสถานะโครงการปัจจุบัน

4) ระดับการดำเนินงาน (Operation Level) แสดงส่วนวิธีก่อสร้างเพื่อให้ทำกิจกรรมใดๆสำเร็จ โดยมีการแจกแจงทรัพยากรที่ใช้และกำหนดกระบวนย่อยในการดำเนินงาน

5) ระดับกระบวนการ (Process Level) ลำดับการทำงาน โดยการใช้ตรรกะให้การจัดลำดับ การควบคุมกระบวนการเดี่ยวๆหรือหลายกระบวนการเข้าหากัน

6) ระดับงาน (Work Task Level) การวางแผนหน่วยย่อยที่สุดของงานที่จะแจกแจงให้กับผู้ปฏิบัติงานก่อสร้างทุกระดับ

รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นการบริหารในงานก่อสร้าง

(Halpin และ Senior Bolivar, 2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาจากขอบเขตและรายละเอียดของการจัดการงานในแต่ระดับพบว่า แผนวิธีทำงาน (Method Statement) ซึ่งให้รายละเอียดวิธีปฏิบัติงานในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างที่มีความจำเป็นต้องแสดงออกมาในรูปแบบของเอกสารหรือแผนภาพประกอบ มีเนื้อหาจัดอยู่ในแผนระดับการดำเนินงาน (Operation Level) และแผนระดับกระบวนการก่อสร้าง (Process Level)

2.2 การติดตามสภาพโครงการ

การติดตามสภาพความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้างและการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทำงานเพื่อให้ผู้ประเมินหรือผู้วางแผนสามารถรับรู้และเข้าใจถึงความเป็นไปของโครงการได้ โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ทั้ง แบบก่อสร้างจริง (As-Build Drawing) และความก้าวหน้าปัจจุบัน (As-Planned Progress) เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติงานขั้นต่อไป ซึ่งปัจจุบันวิธีเก็บข้อมูลความก้าวหน้าของงานก่อสร้างใช้สองวิธีหลักคือการดูด้วยตาและการใช้งานสำรวจ ทั้งสองวิธีเป็นวิธีปฏิบัติที่นิยมที่สุด แต่วิธีการดังกล่าวใช้เวลานาน มีความผิดพลาดได้ง่าย และไม่สามารถปฏิบัติซ้ำได้บ่อยครั้ง (Golparvar-Fard et al., 2011a)

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดในส่วนนี้ต่อมาจึงมีการพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่โครงการด้วยวิธีที่ง่ายยิ่งขึ้นด้วยการใช้เครื่องสแกนภาพสามมิติหรือการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่ก่อสร้างในรูปของกลุ่มจุดสามมิติ ซึ่งเครื่องมือและเทคโนโลยีเหล่านี้พัฒนาขึ้นเพื่อลดการใช้แรงงานคน ช่วยลดความผิดพลาด สามารถปฏิบัติงานได้เร็วและข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ โดยงานวิจัยของ Golparvar-Fard et al. (2011a) วิเคราะห์ศักยภาพของทั้งสองเครื่องมือในการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่โครงการก่อสร้างเพื่อติดตามความก้าวหน้าของโครงการก่อสร้าง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบวิธีการใช้เครื่องสแกนสามมิติและการประมวลผลจากภาพถ่าย

รายการ		Laser Scanning Point Cloud	SfM Cloud และภาพถ่าย
ค่าใช้จ่าย	ค่าแรงงาน	8-16 Man-Hours*	0-1 Man-Hours
	ค่าประมวลผลข้อมูล		เวลาแปรตามจำนวนภาพถ่าย**
	ค่าเครื่องมือ	10,000-130,000 USD	100-500 USD
ปริมาณข้อมูล	กลุ่มจุดสามมิติ	1-2 GB	1-100 MB
	ภาพถ่าย		0.1-1 GB
ความแม่นยำ/รายละเอียด		สูง/สูงมาก	สูง/ทั่วไป***

*ต้องการแรงงานสองคนขึ้นไป

**ความสัมพันธ์แบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล(Exponential function)

***ให้ผลลัพธ์แบบสูงมากได้ด้วยการเพิ่มจำนวนภาพถ่ายและความละเอียด

การทดลองกับพื้นที่ก่อสร้างในและนอกอาคารและเปรียบเทียบศักยภาพของทั้งสองระบบในตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องสแกนสามมิติมีความแม่นยำเชิงมิติมากกว่า อย่างไรก็ตามยังคงต้องใช้แรงงานคนที่ได้รับการอบรมให้ใช้เครื่องมือทำการเก็บข้อมูลตาม

แผนงานของโครงการที่วางไว้รวมถึงมีค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ที่สูงมากและใช้เวลานานในการเก็บข้อมูลระดับหนึ่ง ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการประมวลผลด้วยภาพถ่ายจะให้ความหนาแน่นของจุดสามมิติที่น้อยกว่าในระดับที่เพียงพอต่อการสร้างแบบจำลอง มีค่าใช้จ่ายเครื่องมือน้อยกว่าและไม่จำเป็นต้องมีการอบรมการใช้งานเพราะเป็นเพียงกล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั่วๆไปเท่านั้น การถ่ายภาพพื้นที่ทำได้เร็วและสามารถทำซ้ำได้เมื่อต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นปัจจุบัน

2.3 ลักษณะของข้อมูลสภาพพื้นที่

สภาพแวดล้อมในงานก่อสร้างมีองค์ประกอบพื้นที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาทำให้การวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยข้อมูลไม่สะท้อนกับสภาพความเป็นจริงในปัจจุบันความเสี่ยงในการวางแผนและควบคุมการทำงานที่ผิดพลาด รวมทั้งอาจส่งผลกระทบในกิจกรรมก่อสร้างอื่นในอนาคต

ข้อมูลแผนผังพื้นที่ที่มาจากการสำรวจ ภาพถ่ายภาคพื้นดิน ภาพถ่ายทางอากาศ หรือข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้อ้างอิงสภาพพื้นที่ โดยผู้วางแผนงานก่อสร้างสามารถเลือกวิธีการทำงานเหมาะสมต่อไปได้

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ถึงข้อดีและข้อจำกัดของชนิดข้อมูลสภาพพื้นที่ต่างๆออกเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.2 สรุปการวิเคราะห์ชนิดข้อมูลสภาพพื้นที่ (Bhatla et al., 2012; Łabuz, 2016)

ชนิดข้อมูลสภาพพื้นที่	ข้อดี	ข้อจำกัด
1.แบบแปลนผังพื้นที่ แบบแสดงข้อมูลพื้นที่ก่อสร้างรูปแบบสองมิติที่แสดงตำแหน่ง รายละเอียดเชิงเรขาคณิตของวัตถุที่ได้มาจากงานสำรวจ	เป็นวิธีมาตรฐานในการรายงานสภาพพื้นที่ สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ให้ข้อมูลตำแหน่งและมิติขององค์ประกอบพื้นที่ได้	การเก็บข้อมูลด้วยงานสำรวจบ่อยครั้งมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลามาก ข้อมูลที่ได้อาจขาดความเป็นปัจจุบัน ความละเอียดข้อมูลขึ้นอยู่กับผู้สำรวจซึ่งแปรผันตามเวลา
2.แบบจำลองพื้นที่สามมิติ แบบจำลอง 3D-CAD ที่แสดงรายละเอียดพื้นที่แบบสามมิติ ให้รายละเอียดและองค์ประกอบ รวมถึงข้อมูลภายในแบบจำลอง 3D-BIM	แสดงผลแบบสามมิติ ให้รายละเอียดได้หลายมิติ ปรับเปลี่ยนมุมมองได้ นำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย นำไปผสานกับฐานข้อมูลBIM เพื่อใช้บริหารโครงการได้	ใช้เวลาสร้างแบบจำลองนาน รายละเอียดขึ้นอยู่กับผู้สร้างแบบจำลองและข้อมูลจากงานสำรวจ ข้อมูลที่ได้ขาดความเป็นปัจจุบัน
3.ภาพถ่าย ภายพถ่ายภาคพื้นดิน ภาพมุมสูง ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม	ให้รายละเอียดตามพื้นที่ด้วยข้อมูลเชิงภาพ สามารถระบุองค์ประกอบภายในพื้นที่ทำงานได้	ความละเอียดข้อมูลขึ้นอยู่กับเครื่องมือ ขาดข้อมูลเชิงมิติ มุมมองจำกัดตามวิธีการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิดข้อมูลสภาพพื้นที่	ข้อดี	ข้อจำกัด
4.กลุ่มจุดสามมิติจาก Laser Scanner ข้อมูลอ้างอิงพื้นผิวของวัตถุที่ได้แสดงในรูปจุดพิกัดสามมิติ	ให้รายละเอียดองค์ประกอบวัตถุได้ดี สามารถอ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ได้ แสดงผลด้วยดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้หลากหลาย	เหมาะกับพื้นที่ที่เครื่องมือเข้าถึงได้เท่านั้น ระยะทำการจำกัด ความละเอียดแปรตามเวลาที่เก็บข้อมูล ผู้ปฏิบัติงานต้องเข้าไปยังจุดอันตรายเพื่อติดตั้งเครื่องมือถ้าต้องการเก็บข้อมูลบริเวณนั้น
5.ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนบังคับ สามารถถ่ายภาพมุมสูง เก็บข้อมูลตามคำสั่งของผู้ใช้งาน ให้ข้อมูลและรายละเอียดแบบภาพถ่าย	สามารถโปรแกรมให้ทำงานตามคำสั่ง ทำงานเดิมซ้ำได้ ปรับปรุงแผนการเก็บข้อมูลให้เป็นระบบ	เบตเตอร์รี่เป็นปัจจัยควบคุมเวลาทำการ ต้องบินต่ำหรือเข้าใกล้วัตถุเมื่อต้องการข้อมูลที่มีรายละเอียดสูง การสร้างแบบจำลองใช้เวลาประมวลผล

งานวิจัยนี้พบว่ามีการนำอากาศยานไร้คนบังคับมาใช้สำรวจพื้นที่ก่อสร้างประเภทงานโครงสร้างพื้นฐานมีความเหมาะสม เนื่องมาจากสภาพโครงการขนาดใหญ่ การสำรวจด้วยเครื่องมือประเภทกล้องสถานีรวมหรือเลเซอร์สแกนเนอร์จะต้องใช้เวลาเก็บข้อมูลนาน และผู้สำรวจจะต้องนำเครื่องเมือไปติดตั้งในจุดอันตราย

ข้อมูลประเภทภาพถ่ายจะให้รายละเอียดข้อมูลเชิงคุณภาพได้ดี สามารถระบุองค์ประกอบที่อยู่ในพื้นที่ก่อสร้างได้อย่างชัดเจน ระบุอุปสรรคในการทำงานก่อสร้างได้ อย่างไรก็ตามภาพถ่ายจะไม่สามารถแสดงข้อมูลเชิงมิติได้ ต้องใช้การประมวลภาพถ่ายด้วยโปรแกรมช่วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 สภาพพื้นที่ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา (Dynamic Environment)

กระบวนการก่อสร้างมีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆวันของช่วงเวลาทำงาน ดังนั้นผู้บริหารจัดการแผนผังการใช้พื้นที่ทำงานต้องอาศัยข้อมูลที่แสดงเพียงองค์ประกอบที่คงที่ (Static) และออกแบบแผนการทำงานให้เป็นแผนที่สามารถแสดงองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงเสมอ (Dynamic) ซึ่งเป็นงานที่ยาก (Zolfagharian และ Irizarry, 2014) เนื่องจากการบริหารพื้นที่ทำงานต้องระวังมิให้เกิดการขัดขวางการทำงานของกิจกรรมภายในเวลาเดียวกัน เช่น การใช้เครื่องจักรขุดดินเพื่อทำร่องระบายน้ำชั่วคราวและไม่ปรากฏในแบบอาจขัดขวางการทำงานของเครื่องจักรส่วนอื่นๆได้

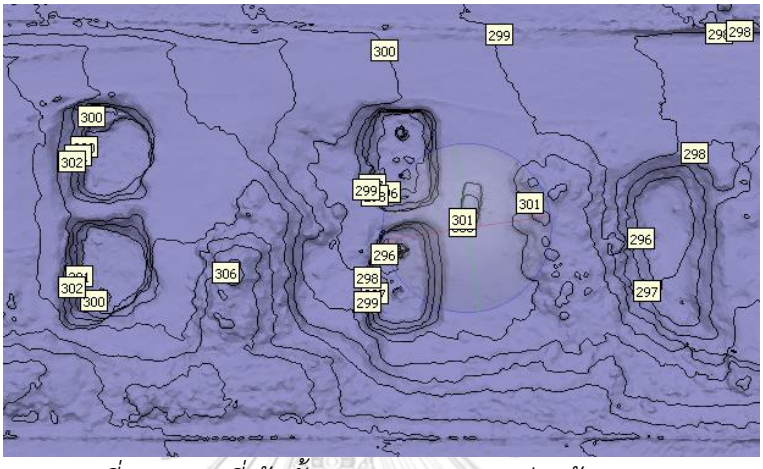
รูปที่ 2.2 งานขุดตัดดินทำทางระบายน้ำชั่วคราว

องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงเสมอในงานก่อสร้างประกอบไปด้วย ถนนชั่วคราว ทางเดิน อาคาร ทางเข้าออก พื้นที่กองวัสดุ ตำแหน่งเครื่องจักร ซึ่งสามารถแสดงผลได้ด้วยการภาพถ่ายมุมสูงจากดาวเทียมหรืออากาศยาน การสำรวจภาคพื้นดินหาค่าระดับและตำแหน่งเพื่อแสดงข้อมูลภายในพื้นที่จริง (Real Environment) และนำไปสร้างแบบจำลองเสมือน (Virtual Environment)

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลา 11 วัน

การใช้พนักงานสำรวจภาคพื้นดินทำค่าระดับและพิกัดอ้างอิงในโครงการเพื่อสร้างแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ซึ่งแสดงลักษณะของภูมิประเทศบนแบบสองมิติหรือนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองสามมิติที่จะแสดงผลมิติความสูงได้ดีกว่า วิธีการเก็บข้อมูลแบบนี้เป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน แต่จากการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่าการเก็บข้อมูลใช้เวลานานและมีการแปรผันตรงกับความละเอียดในการเก็บข้อมูลมาก ทำให้งานเก็บค่าระดับพื้นที่ก่อสร้างส่วนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจนโครงการ

นั้นไม่นิยมเก็บข้อมูลส่วนนี้ เนื่องมาจากค่าใช้จ่ายในการสำรวจที่บ่อยครั้งมีมูลค่ามากและการกำหนดความละเอียดที่สูงจะทำให้ระยะเวลาปฏิบัติงานยาวนานขึ้นด้วย ข้อมูลพื้นที่ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงเสมอจึงไม่มีการจัดเก็บในระดับความละเอียดที่มากพอและขาดความเป็นปัจจุบัน ทำให้การวางแผนวิธีก่อสร้างจะอาศัยเพียงข้อมูลเบื้องต้นหรือข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน



รูปที่ 2.4 แผนที่เส้นชั้นความสูงแสดงงานก่อสร้างฐานราก

2.5 เอกสารแสดงวิธีการทำงาน (Method Statement)

ภายในข้อกำหนดทั่วไป (General Condition) ของสัญญาก่อสร้างจะระบุถึงหน้าที่ความรับผิดชอบของกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสัญญาของโครงการ รูปแบบสัญญามาตรฐานและสัญญาว่าจ้างทั่วไปจะมีข้อกำหนดถึงหน้าที่รับผิดชอบของผู้รับจ้างก่อสร้างให้ผู้รับจ้างต้องมีวิศวกรสนามทำหน้าที่บริหารการก่อสร้างประจำอยู่ที่พื้นที่ก่อสร้างตลอดเวลา

วิศวกรภาคสนามจะมีหน้าที่รับผิดชอบต่อการบริหารโครงการดังนี้

1) จัดทำแผนการดำเนินการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนและควบคุมกำกับดูแลการก่อสร้างให้เป็นไปตามแผน ซึ่งต้องมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องประกอบในแผน

2) เสนอแผนการดำเนินการก่อสร้างโดยผู้รับจ้าง เพื่อให้ได้รับความเห็นชอบจากผู้จัดการโครงการของผู้ว่าจ้างก่อนการดำเนินการในแผนนั้นๆ

ซึ่งสอดคล้องกับสัญญามาตรฐานงานทางด้านวิศวกรรมโยธา ได้กำหนดไว้ว่า ผู้รับจ้างมีหน้าที่ในการปฏิบัติงานก่อสร้างโดยต้องคำนึงถึง ความมั่นคง ความปลอดภัย ที่เพียงพอต่อการทำงาน ยกเว้นแต่มีข้อกำหนดอื่นในสัญญา รวมถึงผู้รับจ้างมีหน้าที่รับผิดชอบจัดทำเอกสารประกอบ งานชั่วคราว รายการออกแบบ รายการคำนวณ รายการวัสดุ ที่ถูกอ้างอิงในสัญญา และผู้รับจ้างมีหน้าที่

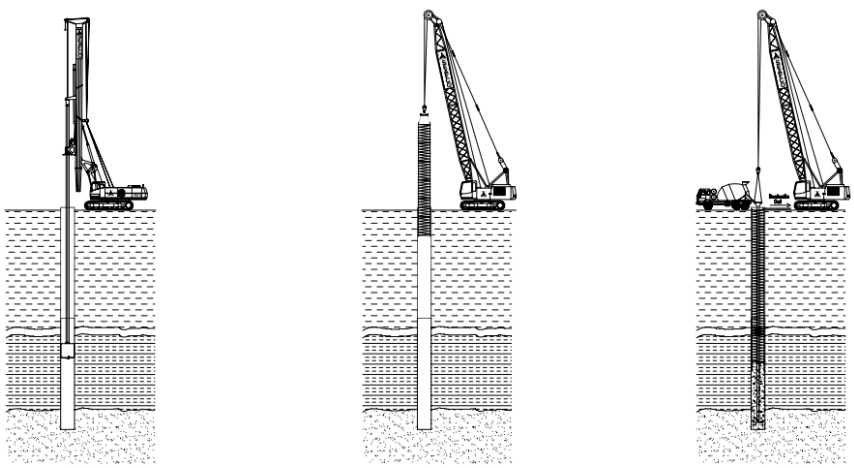
จัดทำรายงานเสนอต่อวิศวกรฝ่ายผู้ว่าจ้าง เรื่องรายละเอียดวิธีการทำงานที่นำไปปฏิบัติงาน ซึ่งต้องผ่านความเห็นชอบจากวิศวกรก่อนจึงสามารถปฏิบัติงานนั้นๆได้ (Baker et al., 2009)

ลักษณะของเอกสารแสดงวิธีการทำงานก่อสร้างของแต่ละองค์กรหรือหน่วยงานอาจมีความแตกต่างกันได้ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ โดยการวางแผนวิธีการทำงานมีวัตถุประสงค์หลักเพื่ออธิบายกระบวนการทำงานก่อสร้างให้มีความปลอดภัย สามารถทำงานได้ โดยเอกสารแสดงวิธีการทำงานสามารถนำไปใช้อ้างอิงเป็นวิธีการก่อสร้างมาตรฐานของโครงการ ซึ่งสามารถนำไปแนบท้ายในสัญญาก่อสร้างได้ ดังนั้นเนื้อหาใดๆที่ปรากฏอยู่ในเอกสารแสดงวิธีการทำงานจึงต้องความมีความชัดเจน สื่อสารให้เข้าใจตรงกัน สามารถในไปใช้อ้างอิงเป็นสัญญาก่อสร้าง

จากการศึกษาเอกสารแสดงวิธีการทำงานก่อสร้างในหลายๆรูปแบบ พบว่าการจัดทำเอกสารมีองค์ประกอบนอกเหนือจากส่วนสรุปเนื้อหาภายใน ส่วนรายชื่อเพื่อลงนามอนุมัติ และส่วนแบบฟอร์มการตรวจสอบ (Check List) ภายในมีส่วนสำคัญอยู่สองส่วนคือ ส่วนเนื้อหาบรรยายและส่วนเสริมขยายความ

ส่วนเนื้อหาบรรยายประกอบไปด้วย ข้อมูลของกิจกรรมที่จะดำเนินงานโดยละเอียด ทั้งชื่อการดำเนินงานที่จะทำ คำอธิบายภาพรวมของงาน เครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ วัสดุที่ใช้ แจกแจงขั้นตอนการเตรียมการ รายละเอียดเรื่องความปลอดภัยและการจัดการความเสี่ยง ความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงาน รายชื่อผู้ที่เกี่ยวข้อง แผนกรณีฉุกเฉิน การประกันคุณภาพ

ส่วนขยายความ มักอยู่ในรูปเอกสารแนบแสดงคุณสมบัติของเครื่องจักรและวัสดุ ใบรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง แบบผังเตรียมพื้นที่ทำงานและเส้นทางขนส่งวัสดุทำงาน แผนภาพแสดงวิธีการทำงาน ซึ่งอาจมาในรูปแบบพิมพ์เขียวสองมิติ ภาพสามมิติ แบบจำลองการทำงานเทียบเวลา



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภาพ Method Statement ของงานเสาเข็มเจาะด้วยวิธีเจาะเปียก

รายการงานก่อสร้างที่ใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำแผนงานด้านความปลอดภัย ประกอบได้ด้วยรายการงานที่มีการจัดเรียงงานก่อน-หลัง ผังองค์กรโครงการ แจกแจงผู้รับผิดชอบ ผู้ควบคุม ผู้ปฏิบัติงาน (Borys, 2012) ข้อกำหนดเทคนิควิธีการทำงานให้เหมาะสมกับงานที่ทำ รายการวิธีการทำงานก่อสร้าง สถานที่ดำเนินการก่อสร้าง รายการเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ แผนจัดหาระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง วิเคราะห์อันตราย แนวทางการป้องกัน แบบแผนผังบริเวณและพื้นที่โดยรอบ

เมื่อทราบถึงข้อมูลแผนงานก่อสร้างในเบื้องต้นของโครงการก่อสร้างดังกล่าวแล้ว สามารถนำข้อมูลต่างๆเหล่านั้นมาวิเคราะห์ วางแผนรวม แจกแจงรายการงานก่อสร้างที่มีตามแผนผังการแจกแจงรายการงาน และนำแต่ละรายการงานที่มีมากำหนดหรือจัดทำรายละเอียด ขั้นตอน วิธีการปฏิบัติ เครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ในการใช้ รวมถึงจำนวนลูกจ้างหรือบุคลากรที่ต้องใช้ และการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสม เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านี้ทั้งหมดในวางแผนและจัดทำแผนงานด้านความปลอดภัยสำหรับงานก่อสร้าง ให้สอดคล้องกับแผนงานก่อสร้างอย่างเป็นระบบ

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการวางแผนวิธีการทำงานที่ปลอดภัย รวมถึงการจัดทำเอกสารแผนวิธีทำงาน เพื่อใช้ยื่นเสนอแก่วิศวกรผู้ควบคุมโครงการอนุมัติการทำงานต่อไป ซึ่งรูปแบบการจัดทำเอกสารนำเสนอจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละองค์กรและโครงการ งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ในส่วนเอกสาร พบว่าส่วนที่อธิบายวิธีการทำงานโดยละเอียดจะใช้ข้อความหรือภาพประกอบเป็นหลัก เนื่องจากจะนำไปใช้ในเอกสารแนบท้ายสัญญา และเพื่อกำหนดมาตรฐานการทำงานของโครงการนั้นๆ

ส่วนการนำเสนอในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว แบบจำลองสามมิติ แบบจำลองสี่มิติ จะใช้สื่อสารกับการดำเนินการก่อสร้างที่มีความสำคัญเป็นพิเศษ ต้องการความแม่นยำในการวางแผนจัดการ และเพื่อการสื่อสารให้เข้าใจตรงกันในขั้นตอนการชี้แจ้งวิธีการทำงานก่อสร้าง

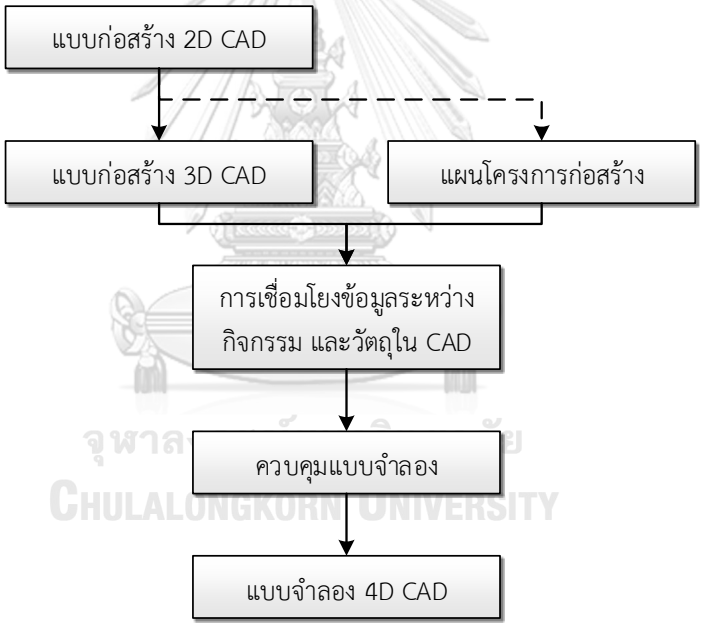
อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในเอกสารแสดงวิธีการทำงานหรือแบบจำลอง ไม่ได้แสดงข้อมูลทางกายภาพที่แท้จริงของพื้นที่ก่อสร้าง ข้อมูลที่ปรากฏจะในแบบจำลองเป็นแบบเสมือนที่สร้างมาจากข้อมูลฝ่ายออกแบบ ส่วนข้อมูลจากฝ่ายสำรวจไม่มีการนำมาใส่ไว้ในแบบจำลองหรือภาพประกอบวิธีการทำงาน จึงมีข้อด้อยในกรณีที่องค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้างไม่ปรากฏในแบบก่อสร้างหรือข้อมูลจากผู้สำรวจไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เพียงพอต่อการวิเคราะห์ประเมินวิธีการทำงานได้

2.6 ต้นแบบเสมือน (Virtual Prototyping)

การพัฒนาแบบก่อสร้างมีการนำระบบ Computer Aided Design มาสนับสนุนการทำงาน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำให้การออกแบบทางวิศวกรรมมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น ลดความผิดพลาด และเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการทำงานไปด้วยกัน แสดงได้จากแบบก่อสร้างที่อยู่ในระบบสองมิติบนกระดาษเปลี่ยนแปลงมาอยู่บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งสามารถเขียนและแก้ไขได้ง่ายกว่า ต่อมาแบบจำลองสองมิติได้รับการพัฒนามากขึ้นเนื่องจากความสามารถของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีการเติบโต นำไปสู่การสร้างแบบจำลองสามมิติที่สามารถแสดงแบบก่อสร้างในระดับมิติที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น มีการนำเข้าข้อมูลเชื่อมโยงเข้ากับแบบจำลองจนเกิดมาเป็นเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model) ซึ่งมีการใช้งานที่แพร่หลายมากในปัจจุบัน

ในมุมของผู้วางแผนงานโครงการก่อสร้างมีการใช้แบบจำลองสามมิติหรือแบบจำลองสารสนเทศอาคารเป็นเครื่องมือในการจำลองสถานการณ์ โดยการนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ร่วมกับมิติเวลา (4D CAD Model) โดยการเชื่อมองค์ประกอบภายในแบบจำลองต้นแบบเสมือนกับแผนการทำงานทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงการในช่วงเวลาที่แตกต่าง ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น สามารถวิเคราะห์ ระบุปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้นจากการใช้แบบจำลอง (Benjaoran และ Bhokha, 2009)



รูปที่ 2.6 ลำดับขั้นการพัฒนาของแบบจำลองสี่มิติ (4D Model)
(Benjaoran และ Bhokha, 2009)

การสร้างแบบจำลองเป็นรูปแบบหนึ่งของการทำงานด้านการออกแบบทางวิศวกรรม ในอดีตการทำแบบจำลองต้นแบบ (Mock Up) เป็นเครื่องมือในการสื่อสาร การเปรียบเทียบแผนงาน การจำลองการใช้งานทดแทนการสร้างจริง ซึ่งมักจะนำไปใช้อย่างหลากหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งรวมไปถึงการทำต้นแบบจำลอง (Virtual Prototyping) ใช้เทคโนโลยีร่วมระหว่าง Virtual Reality (VR) และคอมพิวเตอร์โปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองดิจิทัลซึ่งอาจเรียกว่า Digital Mock-up (Wang, 2003)

Waly และ Thabet (2003) ได้เสนอกรอบแนวคิดสำหรับ Virtual Construction Environment (VCE) เพื่อใช้วางแผนโครงการก่อสร้างและให้ผู้วางแผนงานรับผิดชอบในการตัดสินใจด้วยการแสดงผลต้นแบบเสมือนแบบจำลองสามมิติเพื่อใช้ออกแบบขั้นตอนการก่อสร้าง ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความสามารถในการก่อสร้าง เลือกวิธีทำงานจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ และการเข้าถึงและกำหนดทรัพยากรตามความพร้อมใช้งาน

Chanpaisan (2001) นำเสนอรูปแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality) มาสร้างต้นแบบเสมือนในงานก่อสร้างในขั้นตอนการออกแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ช่วยให้ผู้ร่วมงานเข้าใจผลการออกแบบได้อย่างรวดเร็วและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติ เชื่อมโยงกับการพิจารณาในด้านอื่นๆ ในงานวิจัยนี้พบว่าแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดด้านการแสดงรายละเอียดของข้อมูลด้านระยะ ทำให้ไม่สามารถแสดงสภาพความเป็นจริงทั้งหมดได้ เพื่อเป็นการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้เสนอให้ใช้ต้นแบบเสมือนร่วมกับ แบบ 2 มิติ และภาพถ่ายแบบดิจิตอล

Li et al. (2012) พัฒนาเครื่องมือสร้างต้นแบบเสมือนโดยอัตโนมัติและนำมาใช้เพื่อจำลองแผนการติดตั้งแท่นขุดเจาะชั่วคราวสำหรับติดตั้งในโครงการก่อสร้าง เครื่องมือนี้จำลองผลของขั้นตอนการก่อสร้างโดยมีตัวแปรสามตัวแปรคือ เครื่องจักร การจัดวางผังและกำหนดเวลา ฝ่ายผู้วางแผนจึงสามารถจำลองตัวเลือกได้หลายครั้ง การวางแผนการก่อสร้างและการใช้งานจำลองการสร้างต้นแบบเสมือนจริง (Virtual Prototyping Simulation) เพื่อใช้ในการสร้างสถานการณ์การก่อสร้างที่แตกต่างกันเพื่อช่วยวางแผนวางแผนการก่อสร้างที่ดีที่สุด กรณีศึกษาแสดงให้เห็นถึงการใช้ต้นแบบเสมือนกับการออกแบบแพลตฟอร์มชั่วคราวและการจัดสรรทรัพยากรเพื่อสร้างสถานการณ์การก่อสร้างที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 อากาศยานไร้คนบังคับและภาพถ่ายทางอากาศ (UAV and Aerial Photograph)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนบังคับมีการพัฒนาเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยราคาต้นทุนที่ลดลง ทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีความปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งนับได้ว่าอากาศยานไร้คนบังคับมีศักยภาพเพียงพอในการปฏิบัติงานการทดแทนการใช้เครื่องคนบังคับหรือภาพถ่ายดาวเทียมได้ เนื่องมากจากค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้เมื่อเปรียบเทียบกับงานสำรวจแบบอดีต ต้นทุนและค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ลดลง ระบบอากาศยานไร้คนบังคับจึงมีการนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมโยธาอย่างแพร่หลาย (Siebert และ Teizer, 2014)

การใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการติดตามความก้าวหน้าของการก่อสร้าง มีการประยุกต์ในภาพการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานซึ่งมีระยะทางมาก ทำให้การบริหารควบคุมจากภาคพื้นดินไม่เพียงพอ

การใช้ภาพถ่ายทางอากาศยังผลในวิเคราะห์สภาพพื้นที่โครงการ ต้นไม้ อาคารข้างเคียง ที่รุกล้ำเข้ามาภายในพื้นที่ก่อสร้างได้อีกด้วย (Dieter et al., 2005)

Sillaparat (2015) แบ่งอากาศยานไร้คนบังคับออกเป็นสองกลุ่มตามลักษณะทางกายภาพดังนี้

1) แบบปีกยึด (Fixed Wing) มีลักษณะดังต่อไปนี้ ลักษณะเป็นแบบเครื่องร่อน ต้านทานความเร็วลมได้มาก ใช้พื้นที่ในการบินขึ้นและบินลง สามารถบินขึ้นลงแบบอัตโนมัติได้ แต่ไม่สามารถบินอยู่กับที่ได้ เหมาะสำหรับงานทำแผนที่ขนาดใหญ่

2) แบบปีกหมุน (Rotor) มีลักษณะดังต่อไปนี้ ลักษณะเป็นแบบหลายใบพัด ตั้งแต่ 4 - 8 ใบพัด สามารถบินขึ้นในแนวดิ่งได้ สามารถบินอยู่กับที่ได้ แต่ต้านทานความเร็วลมได้ต่ำ เหมาะสำหรับงานสำรวจและงานตรวจสอบพื้นที่และสิ่งปลูกสร้าง

2.8 กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)

2.8.1 ความหมาย

กลุ่มจุดสามมิติ คือการแสดงพิกัดของวัตถุเสมือนในพื้นที่ระบบพิกัดสามมิติ เพื่อแสดงตำแหน่งของพื้นผิว ปริมาตร ของวัตถุในชุดโปรแกรม

การบันทึกข้อมูลพิกัดที่ใช่ในชุดโปรแกรมในงานวิจัยนี้ ใช้ระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate System) ประกอบด้วยแกนสองแกนตั้งฉากกันอยู่บนระนาบ คือ แกนเอกซ์ และแกนวาย ใช้ระบุถึงตำแหน่งของจุดบนระนาบอ้างอิงจากค่าพิกัดสองค่า คือ พิกัดเอกซ์ และพิกัดวาย

ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนยังสามารถใช้ได้ในปริภูมิสามมิติ (ซึ่งจะมี แกนแซด และ พิกัดแซด เพิ่มเข้ามา) หรือในมิติที่สูงกว่าอีกด้วย ระบบพิกัดฉากเป็นระบบที่ใช้กับแผนที่ มีการวางแนวแกนเอกซ์เป็นแกนตะวันออก-ตะวันตก และมีแกนวายเป็นแกนเหนือ-ใต้ โดยระยะที่วัดบนแต่ละแกนจะเรียกว่าระยะตะวันออก (Easting) และระยะเหนือ (Northing) ตามลำดับ

ลักษณะเชิงพื้นที่ของโครงสร้างพื้นฐานในรูปแบบ 3D point cloud สามารถให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้เกี่ยวกับสถานะปัจจุบัน เพื่อสรุปข้อมูลที่ต้องการและตัดสินใจอย่างเหมาะสม (Fathi และ Brilakis, 2011)

2.8.2 วิธีการสร้างกลุ่มจุดสามมิติ

การสร้างกลุ่มจุดสามมิติสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้เครื่องสแกนสามมิติ (3D scanner) หรือการประมวลผลจากภาพถ่าย (Photogrammetric Processing) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นชุดข้อมูล

ของกลุ่มจุดสามมิติเช่นเดียวกัน แต่จะมีความแตกต่างในวิธีการให้ได้มาซึ่งข้อมูล (Qu และ Sun, 2015) ได้แบ่งวิธีการสร้างกลุ่มสามมิติไว้ดังนี้

1) สร้างจากการวัดระยะทาง (Range-Based Modelling)

วิธีการได้มาโดยใช้เครื่องมือในการวัดระยะทางจุดอ้างอิงใดๆโดยตรง เพื่อแสดงค่าพิกัดของผิววัตถุนั้นๆในระบบพิกัดสามมิติ โดยใช้เวลาที่แสงใช้ในการเดินทางมาคำนวณหาระยะทาง (Impulse-Base) หรือคำนวณจากช่วยคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากแสงสะท้อน (Phase-Difference Base) เช่น การใช้เครื่องสแกนสามมิติ (3D scanner) การใช้เครื่องสแกนทางอากาศ (LiDAR) เป็นต้น

อุปกรณ์ที่อาศัยหลักการการวัดทางตรง มักจะใช้เลเซอร์วัดระยะ โดยส่องกราดไปยังผิวของวัตถุใดๆที่อยู่ในระยะทำการ ระยะเวลาที่แสงเลเซอร์ใช้เดินทางตกกระทบและสะท้อนกลับมาที่เครื่องรับสัญญาณจะถูกคำนวณเป็นระยะทาง เมื่อนำมารวมกับค่ามุมของเครื่องมือแหล่งกำเนิดแสงจะสามารถคำนวณจุดบนระบบพิกัดมุมฉากได้

2) สร้างจากภาพถ่าย (Image-Based Modelling)

วิธีการสร้างจากภาพถ่ายโดยการใช้ชุดโปรแกรมประมวลผลจากภาพถ่าย (Photogrammetry Technique) ซึ่งคำนวณหาจุดแสดงพิกัดของวัตถุจากภาพถ่ายสองภาพขึ้นจากจุดถ่ายภาพที่ต่างกัน วิธีการนี้จะใช้กล้องถ่ายภาพบันทึกข้อมูลเป็นรูปภาพหรือวิดีโอ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้เครื่องมีที่หาได้ทั่วไป ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามโปรแกรมประมวลผลภาพที่มีในปัจจุบันยังคงมีราคาแพง และมีผู้พัฒนาจำนวนมาก ทำให้ชุดโปรแกรมที่ใช้ประมวลผลอาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งย่อมทำให้ผลการประมวลผลภาพถ่ายได้ผลลัพธ์หลากหลาย ดังนั้นผู้ใช้งานควรเลือกใช้โปรแกรมให้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ในการทำงานว่าต้องการผลลัพธ์แบบใด เช่น ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการทำสำรวจทำแผนที่สองมิติ โมเดลสามมิติของพื้นที่โครงการเพื่อการคำนวณปริมาณกองวัสดุ หรือการจัดการทรัพยากร หรือเพื่อการบริหารจัดการเครื่องจักร เป็นต้น

ต่อมาได้มีการพัฒนา วิธี SfM (Structure from Motion) เพื่อทำให้การประมวลผลจากภาพถ่ายมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยมีการใช้ข้อมูลพื้นฐานการตั้งค่าของกล้องถ่ายภาพประกอบในขั้นตอนการประมวลผลด้วย

นอกจากนี้งานวิจัยยังพัฒนาวิธีในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเหล่านั้นด้วยการใช้จุดหมุดควบคุมที่ทราบค่าพิกัดที่ถูกต้อง (Control Points) ชุดโปรแกรมประมวลผลภาพใช้ตัวแปรควบคุมนี้เพื่อการควบคุมการวิเคราะห์พิกัดของวัตถุในภาพถ่ายได้ดีขึ้น (James et al., 2017)

Gore et al. (2012) นำเสนอวิธีการใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพื่อสร้างแบบจำลองงานก่อสร้างบนระบบจุดสามมิติด้วยการประมวลผลจากภาพถ่าย แบบจำลองจะแสดงสภาพปัจจุบันและความก้าวหน้าของงานก่อสร้าง ซึ่งสามารถนำแบบจำลองไปใช้วางแผนจัดการพื้นที่

2.9 การประมวลผลจากภาพถ่าย (Photogrammetric Processing)

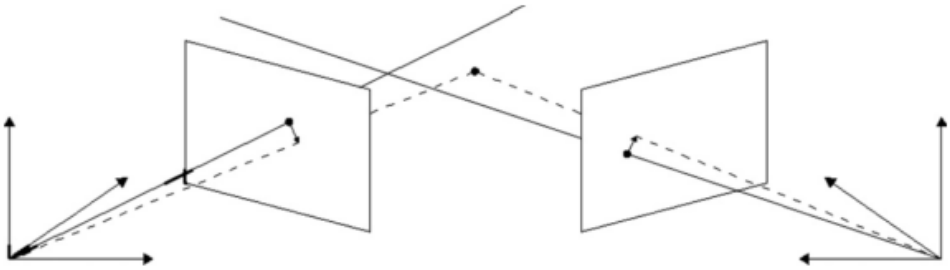
วิธีการได้มาแบบทางอ้อมใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) คือ การดึงข้อมูลจากรูปภาพหรือวิดีโอ เทคนิคที่ใช้ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตของภาพวัตถุมาประกอบกัน ชุดโปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายดิจิทัลจากมุมมองที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ด้วยการเทียบจุดพิเซลสีในภาพ การใช้คุณสมบัติทางสถิติความน่าจะเป็น เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุ โดยผลลัพธ์ในข้างต้นจะแสดงผลออกมาเป็นกลุ่มจุดสามมิติ

2.9.1 Photogrammetry Technique

กระบวนการของเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยการรวบรวมข้อมูลในรูปของภาพถ่ายหรือวิดีโอ ซึ่งมักจะเป็นข้อมูลแบบสองมิติ เนื่องมาจากชนิดของอุปกรณ์ที่เก็บภาพแบบสามมิติ ตัวอย่างเช่น เครื่องเลเซอร์สแกนหรือ Stereo-vision systems , Flash LADAR (Laser Detection and Ranging) และ RGB-D sensors ซึ่งมักจะมีราคาแพงและดูแลรักษายาก ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการใช้ในงานติดตามโครงการก่อสร้าง ซึ่งอาจต้องใช้เครื่องมือเก็บภาพจำนวนมากหรือใช้เวลาเก็บข้อมูลยาวนานตลอดระยะเวลาโครงการ

ประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล จากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายวัตถุเดียวกันจากหลายๆ มุมมอง โดยภาพสองภาพขึ้นไปที่ถ่ายจากมุมมองที่ต่างกันในที่ถ่ายในเวลาเดียวกัน นำมาใช้วิธีการแยกส่วนของภาพถ่ายออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ โดยการแบ่งพื้นที่ของภาพถ่ายตามคุณสมบัติของภาพ และการเปรียบเทียบความเหมือนกันระหว่างสองชุดข้อมูล ด้วยการแยกประเภทของวัตถุในภาพตามความสัมพันธ์ของวัตถุในพื้นที่ข้างเคียง จะได้ประเภทวัตถุ รูปร่างและเรขาคณิตของวัตถุที่ประมวลผลได้จากขั้นตอนนี้และทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้มิติเชิงลึกซึ่งเป็นมิติที่สามจากภาพถ่ายสองมิติได้ (Fathi และ Brilakis, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.7 การเทียบจุดเพื่อระบุตำแหน่งพิกัดของวัตถุจากสองภาพถ่าย

การกำหนดพิกัดจุดสามมิติ จะใช้คุณสมบัติเชิงเรขาคณิตของสามเหลี่ยมและเส้นแนวสายตา (Line of sight) โดยการใช้เส้นแนวสายตาร่วมของจุดพิเซลสีใดๆบนภาพถ่ายสองภาพที่ถ่ายในเวลาเดียวกันในมุมมองที่ต่าง เมื่อทราบพิกัดของจุดกำเนิด ซึ่งในที่นี้คือตำแหน่งของกล้อง ชุดโปรแกรมสามารถคำนวณหาตำแหน่งอ้างอิงของพิกัดพิเซลใดๆบนภาพถ่ายได้ด้วยคุณสมบัติทางเรขาคณิตของสามเหลี่ยมปิดและเส้นแนวสายตาสองเส้น อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของเครื่องมือและการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อาจทำให้ไม่สามารถหาจุดตัดของเส้นแนวสายตา ซึ่งจะใช้การปรับแก้ทางสถิติ (Statistical Optimization for Geometric Computation) ช่วยในการสร้างจุดขึ้นมาได้ (Kanatani, 2008)

2.9.2 Structure from Motion (SfM)

เป็นวิธีการคอมพิวเตอร์วิทัศน์รูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นต่อมาจาก Photographs Processing โดยอาศัยการจัดเรียงภาพถ่ายของวัตถุเดียวกันในทิศทางที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบและจับคู่ภาพถ่ายที่มีจุดพิกเซลบนภาพที่เหมือนกันซึ่งแสดงถึงวัตถุเดียวกัน

วิธี Structure from Motion จำเป็นต้องใช้พิกัดของกล้องถ่ายภาพบนระบบพิกัดฉากเช่นเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวจากกล้องถ่ายภาพ มุมก้มมุมเงย ระยะโฟกัส การบิดของภาพถ่ายและการเคลื่อนที่ของจุดพิเซลอ้างอิงจะถูกนำมาคำนวณร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ชุดโปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยสำคัญคือทุกภาพถ่ายจะต้องมีการบันทักข้อมูลทางกายภาพ มุมก้มของกล้อง ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ระยะโฟกัส เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าตำแหน่งของอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ตำแหน่งต่างๆ และการควบคุมแสงที่ตกกระทบวัตถุควรจะมีค่าที่เท่ากัน เนื่องจากจะมีการเปรียบเทียบสีบนพิเซลภาพถ่ายจำนวนมากเพื่อให้สามารถนำมาคำนวณหาพิกัดที่ถูกต้องได้ (Golparvar-Fard et al., 2011b)

2.9.3 การควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์

กระบวนการประมวลผลจากภาพถ่ายจะให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำถูกต้องประกอบด้วยสามปัจจัยหลักคือ 1.คุณภาพของกล้องถ่ายภาพ เลนรับภาพและจำนวนพิเซลบนภาพดิจิทัล 2.คุณภาพของภาพถ่าย ภาพ มีความคมชัด แสงสว่างเพียงพอ ให้สีที่ถูกต้อง มีระยะห่างจากวัตถุและกล้องถ่ายภาพที่เหมาะสม และ 3.การทำงานของชุดโปรแกรมที่มีระบบปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของกล้องถ่ายภาพ สามารถดึงข้อมูลที่จำเป็นของกล้องออกมาจากภาพถ่ายได้ (Dai และ Lu, 2010)

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองจากภาพถ่ายทางอากาศ

2.10.1 ปัจจัยเกี่ยวกับมุมกล้องถ่ายภาพ

ในอดีตการประมวลภาพถ่ายทางอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างแผนที่ทางอากาศที่ให้รายละเอียดเป็นภาพสองมิติเป็นหลัก ทำให้วิธีการถ่ายภาพถึงมีการปรับมุมกล้อง 90 องศาจากแนวราบให้ถ่ายภาพที่พื้นที่ได้จากมิติที่ตั้งฉาก อย่างไรก็ตามหากใช้วิธีการเก็บภาพถ่ายแบบเดียวกันเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติจะทำให้สูญเสียข้อมูลจากมุมอับด้านข้างไป (Federman et al., 2017)

Agüera-Vega et al. (2018) ได้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองภูเขาที่มีความชันสูง ด้วยการถ่ายชุดภาพสองชุดคือ ปรับมุมกล้องขนานกับแนวราบและปรับมุม 45 องศาจากแนวราบ ด้วยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ประมวลผลจากภาพถ่ายแนวฉาก ภาพถ่ายมุม 45 องศา และแบบผสมกัน พบว่าแบบผสมกันให้แบบจำลองที่มีความถูกต้องเชิงมิติมากกว่า

2.10.2 ปัจจัยเกี่ยวกับทิศทางการบิน

การสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ด้วยจะมีการควบคุมให้อากาศยานไร้คนบังคับบินถ่ายภาพพื้นที่ด้วยเส้นทางที่กำหนด แตกต่างจากการประมวลภาพถ่ายวัตถุขนาดเล็กที่สามารถถ่ายภาพได้จากหลากหลายมุมมองซึ่งจะให้แบบจำลองมีผลลัพธ์ที่ดีกว่าเนื่องจากไม่มีมุมอับสายตา

Kwon et al. (2017) นำเสนอการควบคุมอากาศยานไร้คนบังด้วยมือในการถ่ายภาพทางหลายทิศทางในพื้นที่ก่อสร้างตอม่อสะพานและนำมาสร้างแบบจำลอง โครงสร้างสะพานที่มีมุมอับสายตามากทำให้มีความจำเป็นต้องบังคับด้วยมือในการถ่ายภาพในบางมุมที่เข้าถึงยาก

Aicardi et al. (2016) นำเสนอการใช้โปรแกรมควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับเก็บข้อมูลอาคารขนาดเล็ก ด้วยเส้นทางการบินสองแบบคือ แบบเส้นตรงมุมกล้อง 90 องศาจากแนวราบ และแบบวงรอบมุมกล้อง 45 องศา เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มจุดสามมิติจากเลเซอร์สแกนเนอร์ กับวิธีการประมวลภาพถ่ายจากวิธีการบินที่พัฒนาขึ้น และทดสอบกับ 7 โปรแกรมประมวลผลภาพ พบว่า

โปรแกรม Agisoft PhotoScan และ Pix4D ให้แบบจำลองที่คลาดเคลื่อนจากข้อมูลจากเลเซอร์สแกนเนอร์ที่ Mean Error 0.003 และ 0.004 m. ตามลำดับ

2.11 การทดสอบความแม่นยำของข้อมูลพื้นที่

มาตรฐานเพื่อความถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่แห่งชาติ (The National Standard for Spatial Data Accuracy, NSSDA) ใช้วิธีการทางสถิติและการทดสอบที่แม่นยำสำหรับตำแหน่งของแผนที่และข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากแหล่งต่างๆ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม หรือแผนที่

วิธีการทดสอบคือการเปรียบเทียบค่าพิกัดชุดข้อมูลกับค่าพิกัดจากแหล่งความแม่นยำสูงกว่าสำหรับจุดที่แสดงถึงคุณลักษณะที่มองเห็นได้ง่ายหรือสามารถกู้คืนได้จากภาคพื้นดิน

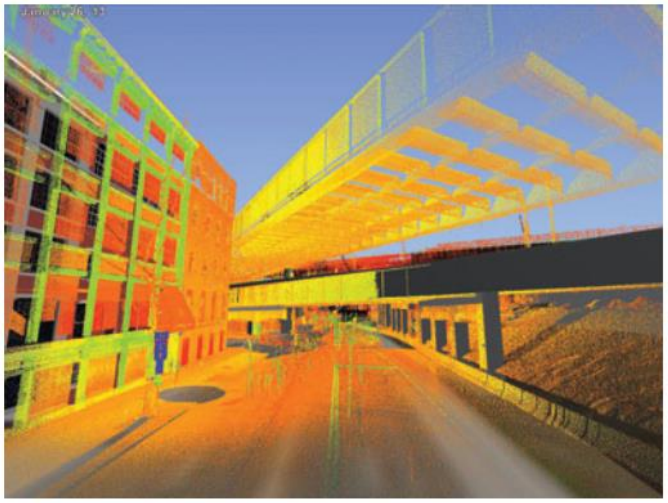
1) ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับตำแหน่ง (Positional Error) ความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดชุดข้อมูลและค่าพิกัดจากแหล่งข้อมูลอิสระที่มีความแม่นยำสูงกว่าสำหรับจุดที่เหมือนกัน

2) รากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root-Mean-Square Error, RMSE) ของเซตของความแตกต่างระหว่างค่าชุดข้อมูลและค่าพิกัดจากแหล่งข้อมูลอิสระที่มีความแม่นยำสูงกว่าสำหรับจุดที่เหมือนกัน

2.12 ตัวอย่างการใช้กลุ่มจุดสามมิติกับการบริหารโครงการ

Gilson และ Mercure (2014) รายงานการประยุกต์ใช้กลุ่มจุดสามมิติกับการก่อสร้างงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานภายในเขตเมืองนิวเฮเวน รัฐคอนเนตทิคัต ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งพื้นที่โครงการอยู่ภายในตัวเมืองและมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากงานก่อสร้างเป็นสะพานเคเบิลขนาด 10 ช่องจราจร โดยมีการรื้อถอนโครงสร้างสะพานเก่า และงานก่อสร้างถนนและทางขึ้นสะพานที่จะเกิดพื้นที่ซ้อนทับกับโครงสร้างสะพานอื่นๆที่มีการจราจรอยู่ ซึ่งในบางจุดที่มีการก่อสร้างใกล้กับอาคารอนุรักษ์อีกด้วย

งานก่อสร้างนี้จึงใช้เครื่องเลเซอร์สแกนเฉพาะจุดที่มีอาคารสำคัญทางประวัติศาสตร์เพื่อเก็บสภาพพื้นที่ปัจจุบันและวางแผนงานก่อสร้างรื้อถอนโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารประกอบในตัวอย่างที่มีสำหรับแผนวิธีการทำงาน รวมถึงการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร แบบจำลองเครื่องจักร เพื่อใช้เป็นตัวช่วยในการวางแผนงานก่อสร้างด้วยแบบจำลองสี่มิติประกอบด้วย



รูปที่ 2.8 แบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามและสี่มิติ (Gilson และ Mercure, 2014)

2.13 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า การวางแผนวิธีทำงานมีความสำคัญต่อการทำงานก่อสร้างให้มีความปลอดภัยและสามารถทำงานได้ ซึ่งเป็นข้อกำหนดทั่วไปภายในเอกสารสัญญาก่อสร้างที่ผู้ควบคุมโครงการต้องจัดเตรียมไว้

งานวิจัยในอดีตมีการพัฒนารูปแบบการแสดงแผนวิธีการทำงานเป็นลำดับ ทั้งการใช้แบบสองมิติ แบบจำลองสามมิติ เพื่อแสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานเพื่อใช้สื่อสารให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันกับผู้ส่วนเกี่ยวข้องในปฏิบัติการเหล่านั้น ต่อมาจึงมีการพัฒนาต้นแบบจำลองสี่มิติ แบบจำลองสารสนเทศ (4D-BIM) และต้นแบบเสมือน มาสนับสนุนขั้นการวางแผน โดยผู้ใช้งานสามารถสร้างสถานการณ์จำลองการทำงานที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น สามารถวิเคราะห์ ระบุปัญญาที่เกิดขึ้นได้ดี

การนำข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทำงานก่อสร้างที่มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบันจะทำให้ต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงานก่อสร้างที่มีความซับซ้อน การวางแผนวิธีทำงานที่มีการอ้างอิงสภาพแวดล้อมพื้นที่จริงจะช่วยระบุอุปสรรคและความเสี่ยงในขั้นตอนการทำงาน

อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา การใช้วิธีสำรวจภาคพื้นดิน การใช้เครื่องสแกนสามมิติ หรือ การใช้ภาพถ่ายทางอากาศยังคงมีข้อจำกัดด้านเวลา ค่าใช้จ่าย และการนำไปสร้างแบบจำลอง ซึ่งในปัจจุบันอากาศยานไร้คนบังคับและชุดโปรแกรมควบคุมสนับสนุนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปผ่านการประมวลผลจากภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวแสดงสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อสร้างได้

ในกรณีที่สิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วยอาคารสูง หรืองานโครงสร้าง ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จะไม่สามารถเก็บข้อมูลในพื้นที่ส่วนที่ถูกบดบัง งานวิจัยในอดีตแสดงให้เห็นถึงความพยายามในการทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองเหล่านี้ และพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลให้ได้แบบจำลองผลลัพธ์ที่ให้ข้อมูลที่ถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

แบบจำลองสภาพพื้นที่สามารถนำไปใช้ในขั้นตอนวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างภายในแบบจำลองต้นแบบเสมือน งานวิจัยนี้จึงเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ร่วมกับระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างเพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่อ้างอิงข้อมูลสภาพพื้นที่ซึ่งได้มาจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ ซึ่งจะมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่และมีระยะทางมากๆทดแทนการสำรวจด้วยวิธีการทั่วไปซึ่งมีข้อจำกัดตามที่อภิปรายไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยหัวข้อการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics) ที่อธิบายลักษณะและรายละเอียดของงานวิจัย หัวข้อต่อมาคือการออกแบบงานวิจัย (Research Design) ที่อธิบายโครางสร้างขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการพิสูจน์กรอบแนวคิดและการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง และหัวข้อสุดท้ายคือวิธีการทำวิจัย (Research Methods) ที่อธิบายวิธีการทำงานวิจัยอย่างละเอียด ซึ่งประกอบด้วยการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ การสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้าง และการทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

โดยการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

3.1 ลักษณะของงานวิจัย (Research Characteristics)

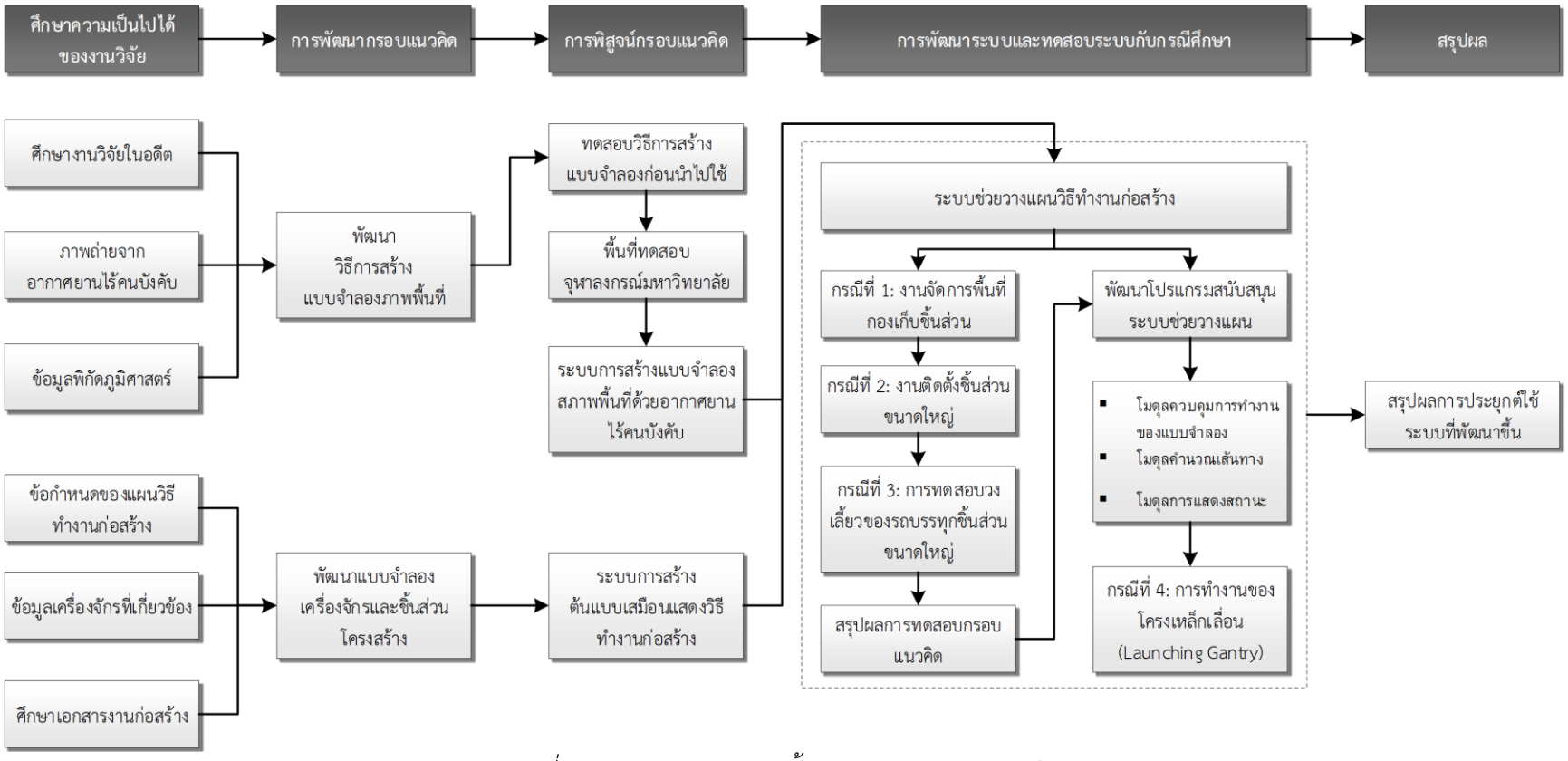
งานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และงานวิจัยประยุกต์ (Applied Research) เนื่องจากมีวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่และนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความคลาดเคลื่อนเชิงมิติที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดข้อมูล ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองสามารถนำมาพัฒนาปรับปรุงแผนวิธีการเก็บข้อมูลให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมตามทรัพยากรที่มี งานวิจัยยังมีการนำเสนอกรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง และนำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในโครงการก่อสร้างกรณีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 การออกแบบงานวิจัย (Research Design)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติกับการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง สามารถแบ่งขอบเขตการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ การพิสูจน์กรอบแนวคิดและการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงใน รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 วิธีทำการวิจัย (Research Methods)

3.3.1 การศึกษาวิธีการใช้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) อากาศยานไร้คนบังคับเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายอากาศ และการสร้างกลุ่มจุดสามมิติจากภาพถ่าย

2) การประยุกต์ใช้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติในทางวิศวกรรมโยธา และการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำก่อสร้าง

ในขั้นตอนนี้คือการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการพัฒนากรอบแนวคิด ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าการใช้กลุ่มจุดสามมิติแสดงสภาพแวดล้อมพื้นที่ก่อสร้างและนำไปใช้อ้างอิงเพื่อออกแบบวิธีทำงานก่อสร้างมีความเป็นไปได้

3.3.2 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการสัมภาษณ์วิศวกรผู้ควบคุมและวางแผนโครงการ สัมภาษณ์ผู้ออกแบบและควบคุมเครื่องจักร ศึกษาแบบก่อสร้าง เอกสารแผนวิธีทำงานก่อสร้าง สำรวจพื้นที่โครงการ เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกรณีศึกษา และทำให้ทราบถึงลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

ผลจากการลงพื้นที่โครงการกรณีศึกษาทำให้งานวิจัยนี้สามารถระบุปัญหาในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่เกิดขึ้นจริง ข้อจำกัด และความเห็นของผู้เกี่ยวข้องกับโครงการเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากรอบแนวคิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.3 การกำหนดเป้าหมายของงานวิจัย

เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบในโครงการก่อสร้างกรณีศึกษา งานวิจัยนี้จึงเสนอกรอบแนวคิดในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่เพื่อวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในต้นแบบเสมือน และระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่อ้างอิงข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่เพื่อใส่สร้างต้นแบบเสมือนได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนการวางแผนวิธีทำงาน การทดลองแผนงาน และการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจ

3.3.4 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลองภาพพื้นที่ให้มีความถูกต้องเชิงมิติ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองปฏิบัติการในพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ ทดลองสร้างแบบจำลอง และทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้อง

เชิงมิติของแบบจำลองสภาพพื้นที่ ซึ่งการทดลองนี้มีความคาดหวังที่จะพัฒนาแผนวิธีการเก็บข้อมูลที่ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากที่สุดเพื่อนำไปใช้วางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

3.3.5 การพิสูจน์กรอบแนวคิดด้วยการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้เลือกโครงการทางหลวงพิเศษสายบางปะอิน-นครราชสีมา ในช่วงพื้นที่ก่อสร้างระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร เป็นพื้นที่ตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบและพัฒนาระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการนำกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างจริง

3.3.6 การพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

งานวิจัยนี้นำข้อมูลที่ได้ในจากการลงพื้นที่ก่อสร้างมาสร้างแบบจำลองที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบ โดยแบ่งออกเป็นห้าส่วนคือ ส่วนแบบจำลองสภาพพื้นที่ แบบจำลอง BIM โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง โมดูลคำนวณเส้นทาง และโมดูลการแสดงสถานะ

การพัฒนาแบบจำลองอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศในโปรแกรม Autodesk Revit 2018 แบบจำลองแบบพาราเมตริกโมเดลมีความสามารถในการควบคุมได้ตามค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ แบบจำลองเหล่านี้จะนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเรียกใช้เมื่อต้องการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีการทำงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้สามารถสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานและมีระบบการจัดการแบบจำลองเช่นเดียวกับแนวคิดของระบบแบบจำลองสารสนเทศ

3.3.7 การทดลองสร้างแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

ข้อมูลที่ได้รับในกรณีศึกษา ผู้ให้สัมภาษณ์ได้ระบุกิจกรรมก่อสร้างที่สำคัญและต้องการแผนวิธีการทำงานมาสนับสนุน งานวิจัยนี้จึงได้เลือกกิจกรรมก่อสร้างเหล่านั้นและลงมือสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ของโครงการก่อสร้างและและผสานแบบจำลองด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อแสดงวิธีทำงานก่อสร้างในต้นแบบเสมือน กิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษาจะประกอบไปด้วย

1) กรณีศึกษาที่ 1: งานจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน

2) กรณีศึกษาที่ 2: งานติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่

3) กรณีศึกษาที่ 3: การทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนขนาดใหญ่

4) กรณีศึกษาที่ 4: การทำงานของโครงเหล็กเลื่อน

งานวิจัยนี้เลือกกิจกรรมก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 1 2 และ 3 มาสร้างแผนวิธีทำงานก่อสร้างเพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนบังคับและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง รวมไปถึงการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างไปพร้อมๆกัน

กิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษาที่ 4 จะเป็นการนำระบบที่พัฒนาขึ้นจากกรอบแนวคิดข้างต้นมาใช้งาน ด้วยการโปรแกรมระบบควบคุมแบบจำลองสารสนเทศและโปรแกรมคำนวณวิธีทำงานของเครื่องจักรจะช่วยสนับสนุนการวางแผนวิธีทำงานในต้นแบบเสมือน

3.3.8 การนำเสนอผลลัพธ์ในการประยุกต์ใช้ระบบ

ต้นแบบเสมือนแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่ได้จากการใช้งานระบบถูกนำไปเสนอต่อวิศวกรในโครงการกรณีศึกษาเพื่อให้ทราบถึงข้อคิดเห็น ข้อจำกัด ของต้นแบบเสมือนและระบบที่พัฒนาขึ้น

3.4 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง และเสนอแนวทางการปฏิบัติเพื่อลดความคลาดเคลื่อนเหล่านั้น

กรอบแนวคิดนี้นำไปสู่การพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างซึ่งงานวิจัยนี้เลือกพัฒนาระบบควบคู่ไปกับกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ กิจกรรมก่อสร้างที่สำคัญในกรณีศึกษาถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบและทดสอบ ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานแสดงออกมาใน 4 กิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษา ซึ่งขั้นตอนการพัฒนากรอบแนวคิดและระบบจะนำเสนอต่อไปในงานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้เริ่มพัฒนาเทคนิควิธีการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ โดยการศึกษาวิธีการบินจากคู่มือของอุปกรณ์ สื่อทางอินเตอร์เน็ต และงานวิจัยในอดีต เพื่อนำมาปรับใช้กับเครื่องมือที่งานวิจัยนี้มีในขั้นตอนการศึกษาการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ทำงาน

อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติด้วยการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ งานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดสอบเครื่องมือเพื่อประเมินและพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลให้เกิดความถูกต้องเพียงพอต่อการนำไปใช้วางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

พื้นที่ที่ใช้ทำการทดสอบคือ บริเวณหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจพื้นที่โดยรอบด้วยกล้องสำรวจสถานีรวมเพื่อทำจุดอ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดควบคุมและหมุดทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับให้บินทดสอบบริเวณโดยรอบอาคารหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนำภาพถ่ายทางอากาศมาสร้างแบบจำลองพื้นที่ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดทดสอบที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่

4.1 ข้อมูลอ้างอิงของพื้นที่ทดสอบ

4.1.1 รายละเอียดพื้นฐานของพื้นที่ทดสอบ

อาคารหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐ กว้าง 25.6 เมตร ยาว 56.6 เมตร สูง 29.10 เมตร มุงกระเบื้องหลังคาเกล็ดปลาตามแบบอาคารโบราณในสถาปัตยกรรมไทย

พื้นที่โดยรอบประกอบไปด้วย ลานจอดรถคอนกรีตเสริมเหล็ก สวนไม้เล็ก ต้นไม้ขนาดใหญ่ สระน้ำ และถนนสัญจรภายในมหาวิทยาลัย

4.1.2 หมุดทดสอบและหมุดควบคุม

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครือข่ายของจุดอ้างอิงค่าพิกัดงานสำรวจโดยรอบพื้นที่ด้วยการถ่ายค่าพิกัดภูมิศาสตร์ในระบบ WGS84 UTM 47N ไปยังองค์ประกอบภายในพื้นที่เช่น ขอบเขตอาคาร ลาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จอดรถ ถนน และสวน โดยมีสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่ายทางอากาศ เช่น สายเส้นกระเบื้องหลังคา ลายบนทางเท้า สัญลักษณ์เส้นจราจร มีรายละเอียดตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลหมุดพิกัดอ้างอิงในพื้นที่ทดสอบ

พื้นที่สำรวจ	ลักษณะพื้นที่	จุดสำรวจ	หมุดทดสอบ	หมุดควบคุม
1.วงเวียนรอบเสาธง	พื้นที่เปิดโล่ง สัญลักษณ์จราจร	142	0	1
2.ลานจอดรถข้างอาคาร	พื้นที่เปิดโล่ง ต้นไม้เบาบาง สัญลักษณ์จราจร	17	10	1
3.ลายบนทางเท้า	พื้นที่ทึบ ต้นไม้หนาแน่น ลวดลายเรขาคณิต	15	0	1
4.ถนนโดยรอบ	พื้นที่เปิดโล่ง สัญลักษณ์จราจร	7	0	1
5.หลังคาอาคาร	พื้นที่เปิดโล่ง ที่สูง ลวดลายเรขาคณิต	30	30	0

การถ่ายค่าพิกัดให้แก่องค์ประกอบภายในพื้นที่ทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นหมุดควบคุมในการดัดแก้แบบจำลองในกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย และหมุดทดสอบสำหรับวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองที่สร้างขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมุดทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลององค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างจริง โดยหมุดทดสอบที่ทราบค่าพิกัดและค่าระดับจะใช้เป็นตัวแทนอ้างอิงตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุเหล่านั้น และนำมาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองได้ ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในการวางแผนงานก่อสร้าง

ในงานวิจัยนี้แบ่งหมุดทดสอบและหมุดควบคุมออกเป็นสามส่วนตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1) หมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางสูง

หมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางสูงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตัวแทนวัตถุที่อยู่เหนือพื้นดินมากๆ เช่น หัวเสาโครงสร้าง แนวคันดินไหล่เขา และวัตถุที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน

กลุ่มข้อมูลนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้ลายเส้นเรขาคณิตของกระเบื้องมุงหลังคาอาคารหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่เป็นหมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางสูงจำนวน 30 จุด (รูปที่ 4.1) ซึ่งมีค่าระดับอยู่ในช่วงความสูง 16-27 เมตร เหนือพื้นดิน

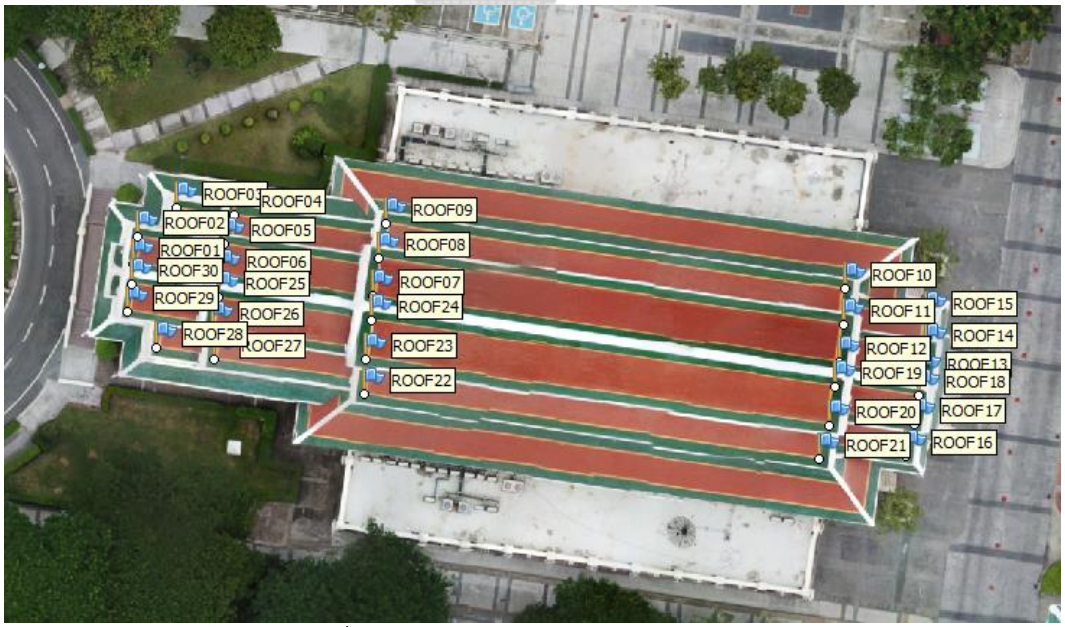
2) หมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางราบ

หมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางราบมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตัวแทนวัตถุที่อยู่ในแนวระนาบขนานพื้นดินและมีค่าความสูงที่ต่างกันไม่มากนัก โดยแสดงถึงองค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้าง อุปสรรคที่กีดขวางการทำงาน ถนนสัญจรในพื้นที่ เป็นต้น

กลุ่มข้อมูลนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้ลายบนทางเท้าบริเวณด้านข้างอาคารหอประชุมใหญ่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่เป็นหมุดทดสอบตัวแทนข้อมูลทางราบจำนวน 10 จุด (รูปที่ 4.2)

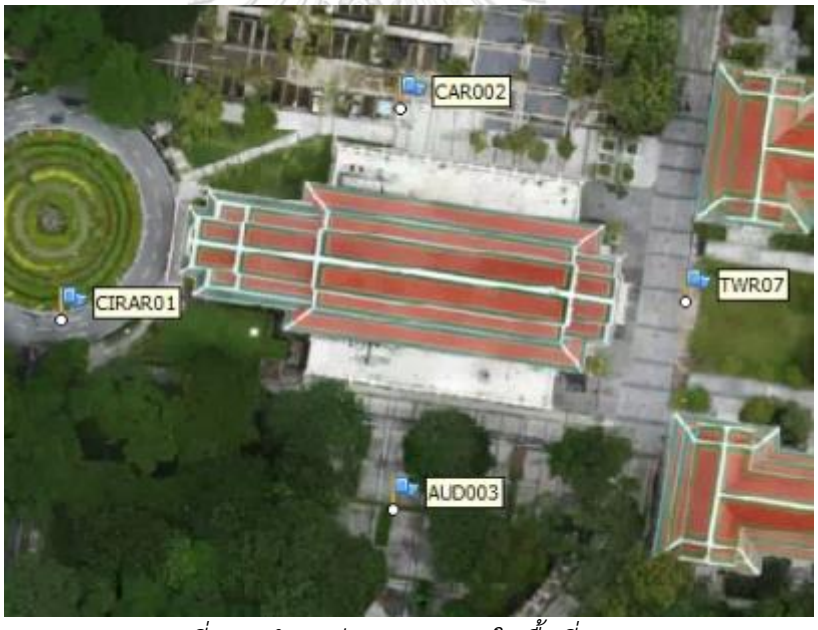
3) หมุดควบคุม

งานวิจัยนี้เลือกจุดอ้างอิงค่าพิกัดเป็นหมุดควบคุมจำนวน 4 จุด เพื่อใช้ดัดแก้แบบจำลองในกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย ซึ่งมีหลักในการเลือกที่สำคัญคือ จะต้องมีการกระจายตัวรอบพื้นที่ที่ดี สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่ายทางอากาศในหลายๆทิศทาง มีความชัดเจนไม่ถูกบดบัง และมีความถาวรเคลื่อนย้ายไม่ได้



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งหมุดตัวแทนข้อมูลทางสูง

รูปที่ 4.2 ตำแหน่งหมุดตัวแทนข้อมูลทางราบ



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งหมุดควบคุมในพื้นที่ทดสอบ

4.2 การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับอากาศยานไร้คนบังคับที่มีอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถสามารถใช้งานวิจัยนี้เป็นแนวทางปฏิบัติในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศได้ และเลือกใช้โปรแกรมประยุกต์สำหรับการควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับที่ได้รับการสนับสนุนและ

ออกแบบโดยผู้ผลิตอากาศยานนั้นๆ ซึ่งมีข้อดีที่จะได้รับการสนับสนุนทางเทคนิคและข้อมูลอ้างอิงต่างๆจากผู้ผลิตได้โดยตรง

4.2.1 อากาศยานไร้คนบังคับ

งานวิจัยนี้เลือกอากาศไร้คับบังคับ DJI Mavic Pro เป็นอากาศยานแบบสี่ใบพัด น้ำหนัก 0.734 กิโลกรัม ใช้ระบบนำร่องด้วย GPS และ GLONASS มีระยะเวลาทำการบินต่อแบตเตอร์รี่หนึ่งชุดเฉลี่ยประมาณ 15-21 นาที สามารถบินได้ไกล 13 กิโลเมตร ทำความเร็วสูงสุดได้ 65 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตัวเครื่องติดตั้งกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูง CMOS 12 ล้านพิกเซล รูรับแสง 1/1.23 มุมมองกว้าง 78.8 องศา สามารถปรับค่า ISO 100 ถึง 1600 สำหรับถ่ายภาพนิ่ง ปรับความเร็วชัตเตอร์สูงสุด 1/8000 วินาที

ระบบควบคุมกล้องถ่ายภาพ สามารถควบคุมมุมก้มมุมเงยของกล้องได้ถึง 90 องศา มีระบบมอเตอร์ชดเชยแรงเฉื่อย (Gimbal) ที่ช่วยลดการสั่นไหวให้กับกล้องถ่ายภาพเมื่อมีการถ่ายภาพที่ความเร็วชัตเตอร์สูง เพื่อการถ่ายภาพขณะที่อากาศยานเคลื่อนที่ไปได้พร้อมๆกัน

รูปที่ 4.4 ระบบมอเตอร์ชดเชยแรงเฉื่อย (Gimbal)

4.2.2 ระบบควบคุมระยะไกล

ในอดีตการควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับจำเป็นต้องควบคุมด้วยชุดโปรแกรมเฉพาะทางซึ่งมักจะทำงานผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและต้องมีเครื่องส่งสัญญาณระยะไกล ซึ่งทำให้การทำงานขาดความคล่องตัวเนื่องจากอุปกรณ์พ่วงจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในหลายๆระบบปฏิบัติการมีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยทดแทนการทำงานในส่วนนี้ ด้วยการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ที่ใช้ที่สะดวก ทำความเข้าใจง่าย

รูปที่ 4.5 อากาศยานไร้คนบังคับและระบบควบคุม

การเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตที่สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อควบคุมผ่านโปรแกรมประยุกต์ โดยแสดงภาพถ่ายทอดสดจากกล้องถ่ายภาพและตำแหน่งพิกัดจากระบบนำร่องที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน รวมถึงข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นทั้ง พลังงานคงเหลือ ระยะเวลาทำงานที่เหลือ ระยะทางจากผู้ควบคุม ความสูงของเครื่อง ระยะทางของอุปสรรคถึงตัวเครื่อง ความเร็วของเครื่อง ซึ่งจำเป็นในการควบคุมอากาศยานให้มีความปลอดภัย

รีโมตควบคุมด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ 2.4 – 2.4835 GHz มีระยะการรับส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด 7 กิโลเมตร สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอกทั้ง สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต ผ่านสายเชื่อมต่อ USB หรือผ่านสัญญาณ Wi-Fi และงานวิจัยนี้เลือกใช้ Apple iPad Mini เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมแทนการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งมีระบบระบุตำแหน่งในตัว สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อโหลดแผนที่ทางอากาศมาใช้วางแผนการบิน ควบคุมได้ง่ายด้วยหน้าจอสัมผัส มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3 โปรแกรมประยุกต์เพื่อการควบคุม

การควบคุมอากาศยานผ่านรีโมตควบคุมจากภาคพื้นดินซึ่งจะถ่ายทอดสดภาพจากกล้องทำให้การควบคุมอากาศยานจากระยะไกลสามารถทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามในการเก็บข้อมูลพื้นที่โครงการจำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำจากระบบนำร่องพิกัดภูมิศาสตร์ การควบคุมโดยมนุษย์จึงเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถควบคุมให้มีความแม่นยำได้ ดังนั้นโปรแกรมประยุกต์ควบคุมนำร่องจึงเป็นวิธีแก้ปัญหาในส่วนนี้

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นแนวทางศึกษาและปฏิบัติตามวิธีการเก็บข้อมูลได้อย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้จึงเลือกโปรแกรมประยุกต์ที่มีการรองรับให้สามารถควบคุมอากาศยานได้และมีการสนับสนุนจากทางผู้ผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกโปรแกรมประยุกต์ที่มีจำหน่ายอยู่ใน

App Store หรือ Play Store บนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android เพื่อให้คนทั่วไปสามารถเข้าถึงและเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

จากการทดลองใช้และศึกษาโปรแกรมประยุกต์ที่รองรับและสนับสนุนการทำงานร่วมกับตัวอากาศยานไร้คนบังคับรุ่น DJI Mavic Pro ซึ่งมีการรับรองโดยผู้ผลิต งานวิจัยนี้พบว่ามีโปรแกรมประยุกต์ที่รองรับดังนี้ Altizure, Pix4Dcapture, DJI Go 4.0 และ DJI GS Pro ที่สามารถใช้ควบคุมและวางแผนการบินผ่านแผนที่ทางอากาศได้ โดยสามารถกำหนดจุดพิกัดของพื้นที่ที่ต้องการสำรวจเพื่อให้อากาศยานทำการเก็บข้อมูลบนตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์และยังสามารถบันทึกแผนการบินเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลพื้นที่เดิมต่อเนื่องในครั้งถัดไปได้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Application ส่วนควบคุมการบิน

Application	แผนที่แสดงพื้นที่การบิน	ถ่ายทอดสด	ส่วนควบคุมการบิน		
			ความเร็วในการบิน	ทิศทางเซ็นเซอร์	หยุดเพื่อถ่ายภาพ
Altizure	Google / Apple	✓	15 m/s	ทิศทางเดียว	✗
Pix4Dcapture	MapBox / Apple	✓	5 ระดับ	หน้าเสมอ	✓
DJI Go 4.0	Legal Maps	✓	กำหนดเอง	กำหนดเอง	กำหนดเอง
DIJ GS Pro	Legal Maps	✓	15 m/s	ทิศทางเดียว	✓

จากตารางแสดงคุณสมบัติของ Application ส่วนควบคุมการบิน มีการใช้แผนที่ดาวเทียมที่แตกต่างกันไปในแต่ละ Application ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกเปลี่ยนการแสดงผลได้ตามต้องการ โดยใน DJI Go 4.0 และ DJI GS Pro จะใช้แผนที่ของตนเอง ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบแล้วมีความใกล้เคียงกับแผนที่ของทาง Apple Maps

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนควบคุมการบินเพื่อถ่ายภาพเก็บข้อมูลมีความสำคัญ เนื่องจากความคมชัดของภาพที่ได้มีผลต่อการนำไปประมวลเพื่อสร้างแบบจำลอง การถ่ายภาพที่มีคุณภาพสูงจำเป็นต้องบังคับอากาศยานให้ต้านความเร็วกระแสลม ตัวเครื่องใบพัดของอากาศยานจะชดเชยแรงลมให้กล้องถ่ายภาพนิ่งเพียงพอ แต่การบังคับให้เครื่องต้องหยุดเพื่อถ่ายภาพทุกครั้งจะทำให้เครื่องไม่สามารถทำความเร็วได้มากพอและจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อถ่ายภาพบ่อยครั้งทำให้เสียพลังงานของเครื่องค่อนข้างมาก ดังนั้นการตั้งค่าส่วนควบคุมการบินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาพอากาศจะทำให้การใช้พลังงานแบตเตอร์รี่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ Application ส่วนควบคุมการถ่ายภาพ

Application	คุณสมบัติการถ่ายภาพ			
	Focus	Shutter Sp.	ISO	AE
Altizure	Auto	Auto	Auto	Auto
Pix4Dcapture	Auto	Auto	Auto	Auto
DJI Go 4.0	Re-Focus/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual
DIJ GS Pro	Re-Focus/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual

ส่วนการควบคุมการถ่ายภาพมีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพถ่ายที่จะนำไปประมวลเพื่อสร้างแบบจำลอง คุณภาพของภาพที่มีความคมชัดสูง มีแสงสว่างเพียงพอและให้สีที่คงที่ การควบคุมกล้องถ่ายภาพควรมีระบบ Auto Focus ที่ปรับความชัดตื้นลึกได้ ปรับความเร็วชัตเตอร์ให้เร็วพอเพื่อลดการสั่นไหวของภาพ ปรับค่า ISO และค่ารูรับแสงที่เหมาะสมให้ภาพไม่เกิดสัญญารบกวน (Noise)

ในการบินเก็บภาพพื้นภูมิศาสตร์ซึ่งมีความสูงต่ำต่างกันไปทำให้การเลือก Focus ของกล้องมีความสำคัญ เนื่องจากระยะห่างระหว่างกล้องถึงจุดบนพื้นที่ที่สนใจจะไม่คงที่ ทำให้กล้องควรมีการปรับ Focus ใหม่อยู่ตลอด ซึ่งการทำ Auto Focus อาศัย Software ของกล้องช่วยประมวลผลภาพในขณะนั้น ซึ่งในบางครั้งอาจไม่เร็วพอกับความเร็วของอากาศยานทำให้ภาพที่ได้เกิดการเบลอ โปรแกรมควบคุมการถ่ายภาพจึงควรสามารถทำ Re-Focus เพื่อให้สามารถปรับความชัดของภาพได้ตามระดับเพดานบินและความเร็วของอากาศยาน

งานวิจัยนี้ทดลอง Application ควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับ DJI Mavic Pro กับ Altizure, Pix4Dcapture, DJI Go 4.0 และ DJI GS Pro ในหลายสถานการณ์ ทั้งความสูง ระยะทางการบิน ปริมาณแสงธรรมชาติและช่วงเวลาการบิน

DJI GS Pro มีความสามารถที่เหนือกว่า Application อื่น เนื่องจากสามารถประความเร็วในการบินได้อย่างอิสระ และมีความสามารถในการควบคุมการถ่ายภาพที่ดีกว่า ผู้ใช้งานสามารถกำหนดจุดโฟกัสได้ต่อเนื่องในขณะที่ทำการบินเก็บข้อมูลอยู่ผ่านทางระบบควบคุมระยะไกล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือก DJI GS Pro เป็น Application สำหรับควบคุมการบิน เนื่องจากมีความสามารถในการสั่งการอากาศยานไร้คนบังคับได้ดีกว่า Application อื่นด้วยเหตุผลตามที่กล่าวมา

4.2.4 วิธีการบินเก็บข้อมูล

จากการศึกษาคู่มือการทำงานของ DJI GS Pro ซึ่งถูกออบแบบมาเพื่อใช้วางแผนการเก็บภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ที่สนใจ งานวิจัยนี้พบว่า Application มีความสามารถในการควบคุมวิธีการบินได้โดยอัตโนมัติ ด้วยการตั้งค่าพื้นที่เก็บข้อมูลจากแผนที่ดาวเทียบหรือค่าพิกัดที่ทราบความสูงที่ใช้บิน และเส้นแนวทางการบินเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ ซึ่งใน Application มีการตั้งค่าพื้นฐานดังนี้

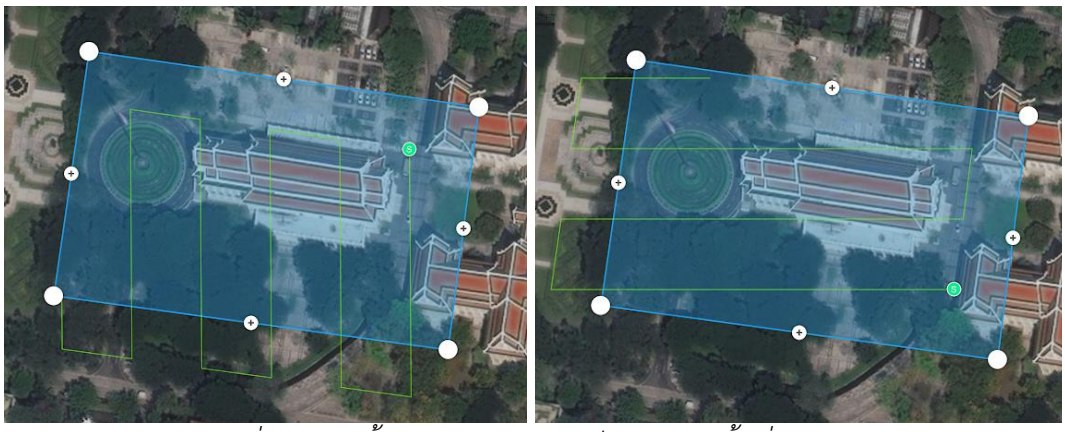
1) ความสูง

ในขั้นแรกที่ทำการเลือกพื้นที่เก็บข้อมูลแล้ว ควรศึกษาสภาพพื้นที่เบื้องต้นก่อนว่ามีอุปสรรคทางสูง เป็นเขตห้ามบิน เป็นพื้นที่ส่วนบุคคล หรือมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ผู้วิจัยจะทำการบินด้วยตัวเองเพื่อสำรวจพื้นที่เพื่อความปลอดภัยก่อนเบื้องต้นจากนั้นจึงเลือกระดับเพดานบินที่ปลอดภัย

2) แนววิถีการบิน

จากการศึกษางานวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยการใช้ภาพถ่ายวัตถุจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายวัตถุเดียวกันจากสองมุมมองขึ้นไปจึงจะสามารถประมวลภาพถ่ายได้ ดังนั้นการเลือกวิถีการบินจึงอาศัยหลักเดียวกัน คือต้องถ่ายภาพวัตถุเดียวกันจากสองทิศทางขึ้นไป (Fathi และ Brilakis, 2011) ในการเก็บข้อมูลจึงตั้งค่าให้อากาศยานบินสองทิศทางหลักเป็นอย่างต่ำและมีแนวที่ตั้งฉากกัน

ผู้วิจัยจึงตั้งค่าใน DJI GS Pro เก็บข้อมูลพื้นที่เดียวกันสองครั้งในทิศทางตั้งฉาก โดยตั้งค่าให้กล้องถ่ายภาพหันไปตามแนววิถีการบินเพื่อถ่ายภาพพื้นผิวของพื้นที่ก่อสร้างและพื้นที่ข้างเคียงที่สนใจได้อย่างครอบคลุม ทั้งนี้สามารถเพิ่มแนวการบินได้เมื่อต้องการสร้างแบบจำลองลองสามมิติคุณภาพสูง แต่จะทำให้การประมวลผลใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์มากและใช้เวลานาน



รูปที่ 4.6 การตั้งค่าแนววิถีการบินเก็บข้อมูลในพื้นที่ทดสอบ

4.2.5 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ

งานวิจัยนี้ตั้งค่ามุมก้มของกล้องถ่ายภาพของอากาศยานไร้คนบังคับในมุมต่างๆเพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง กำหนดให้ Application ทำการ Re-Focus ที่กึ่งกลางภาพก่อนการถ่ายภาพ และกำหนดค่า ISO ความเร็วชัตเตอร์ ค่ารูรับแสง ตามความเหมาะสมกับภาพพื้นที่อากาศ และปริมาณแสงสว่าง

4.3 การสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่

4.3.1 Image Processing

ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการทำการบินบนพื้นที่ในแต่ละครั้งจะถูกนำมารวมกันผ่านชุดโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อนำมาสร้างกลุ่มจุดสามมิติและแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข งานวิจัยนี้เลือกโปรแกรม Agisoft PhotoScan 1.3.3 ที่มีคุณสมบัติในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเฉพาะทาง ซึ่งสามารถดึงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ข้อมูลการตั้งค่าของกล้องถ่ายภาพ ออกมาจากไฟล์ภาพถ่ายได้โดยตรง และนำมาคำนวณทางคณิตศาสตร์ภายในโปรแกรม โดยมีผลลัพธ์เบื้องต้นเป็นกลุ่มจุดสามมิติและแบบจำลองพื้นผิว

ในขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติมีขั้นตอนการนำค่าพิกัดหมุดอ้างอิงมาใช้ดัดแก้แบบจำลอง ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติของการใช้โปรแกรม Agisoft PhotoScan Pro เพื่อให้แบบจำลองสามารถใช้อ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ได้

ในงานวิจัยนี้ใช้อากาศยานไร้คนบังคับ DJI Mavic Pro บินเก็บภาพถ่ายพื้นที่ทดสอบ และใช้หมุดควบคุมเพื่อดัดแก้แบบจำลองจำนวน 4 จุด (ตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.3)

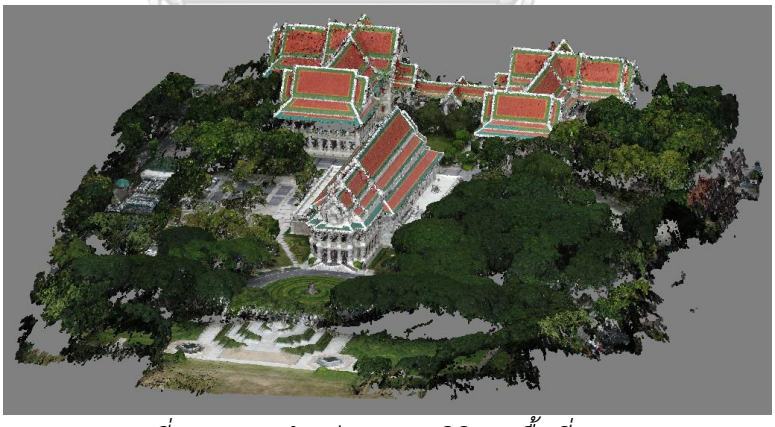
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าพิกัดของหมุดควบคุม

ชื่อหมุดควบคุม	ชื่อในระบบ	พิกัด X	พิกัด Y	พิกัด Z
GCP-1	CIRAR01	665656.738	1519297.619	0.812
GCP-2	CAR002	665721.093	1519337.642	0.719
GCP-3	TWR07	665774.987	1519301.131	0.624
GCP-4	AUD003	665719.573	1519261.765	1.449

4.3.2 Point Cloud Model

โปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายสามารถดึงค่าพิกัดภูมิศาสตร์และระดับของจุดที่ถ่ายภาพจากไฟล์ที่บันทึกได้ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ระบบ WGS84 จะมีการถ่ายค่าไปยังจุดใดๆบนกลุ่มจุดสามมิตินี้ได้ทั้งหมด ผลจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากศจะได้กแบบจำลองลุ่มจุดสามมิติขึ้นมา โดยแต่ละจุดจะอ้างอิงถึงพิกัดของพื้นผิววัตถุใดๆบนปริภูมิสามมิติพร้อมแสดงค่าสีของจุดตามภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผล

ดังนั้น ค่าพิกัดของกลุ่มจุดสามมิติสามารถแสดงเป็นรูปแบบของ Local Coordinated ซึ่งเป็นพิกัดแบบกำหนดเองหรือ WGS84/UTM 47N ซึ่งเป็นรูปแบบพิกัดดาวเทียมซึ่งใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย



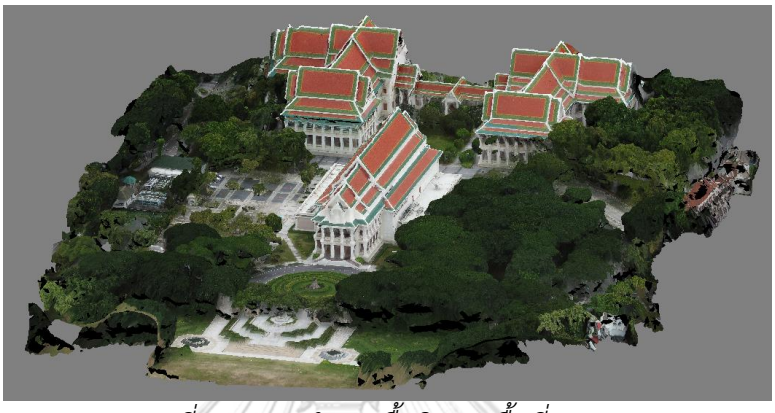
รูปที่ 4.7 แบบจำกลุ่มจุดสามมิติของพื้นที่ทดสอบ

4.3.3 Digital Surface Model

ในขั้นต่อมาโปรแกรมจะสร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติจากข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จากการประมวลผลในขั้นที่แล้ว ซึ่งพิกัดของจุดสามมิติจะนำไปใช้อ้างอิงกับไฟล์ภาพถ่ายเพื่อดึงภาพพื้นผิวที่

อยู่ในภาพมาใช้สร้างแบบจำลองพื้นผิว ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ตามจำนวนภาพถ่ายและความละเอียดของภาพที่ต้องการ

ผลลัพธ์จากการทำแบบจำลองพื้นผิวสามมิติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายตามวัตถุประสงค์ทั้งการติดตามความก้าวหน้าของโครงการ ใช้เป็นเครื่องมือสื่อสาร วางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง วิเคราะห์ปริมาณงานดินขุดดินถม จัดการพื้นที่โครงการ เป็นต้น



รูปที่ 4.8 แบบจำลองพื้นผิวของพื้นที่ทดสอบ

4.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองสภาพพื้นที่

งานวิจัยนี้นำแบบจำลองสภาพพื้นที่มาตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติด้วยการเปรียบเทียบค่าพิกัดของหมุดทดสอบกับค่าพิกัดในฐานข้อมูล ค่าทางสถิติที่เป็นตัวแทนความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองคือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเป้าหมายให้ไม่ได้เกิน 10 เซนติเมตร

4.5 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง

ในระหว่างกำลังพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่ งานวิจัยนี้พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากหมุดทดสอบมีค่าแตกต่างกันในแต่ละแบบจำลองที่มีการตั้งค่าวิธีการบินที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ เพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองสภาพพื้นที่ และหาวิธีควบคุมให้แบบจำลองมีความความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมตามทรัพยากรที่มี

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบปัจจัยสองอย่าง คือ มุมกล้องถ่ายภาพ และจำนวนเส้นทางการบิน ซึ่งมีตัวแปรควบคุมคือ จำนวนหมุดอ้างอิงค่าพิกัดจำนวน 4 จุดเท่ากันในแต่ละการสร้างแบบจำลอง ซึ่งการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 มุมของกล้องถ่ายภาพ

มุมของกล้องถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนบังคับจะให้ภาพมุมสูงและพื้นที่ที่ครอบคลุมในมุมที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละการตั้งค่า ซึ่งงานวิจัยในอดีตยังมิได้หาข้อสรุปมุมกล้องที่เหมาะสมที่สุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองให้ถ่ายภาพจากองศามุมกล้องที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศา เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวต่อแบบจำลองและหาการตั้งค่าเครื่องมือที่ดีที่สุด โดยมีตัวแปรควบคุมคือ หมุดควบคุมค่าพิกัดจำนวน 4 จุด และบินที่ระดับความสูง 90 เมตร

งานวิจัยนี้ทดสอบกับหมุดทดสอบทั้งสองกลุ่มและได้ผลการทดสอบดังนี้

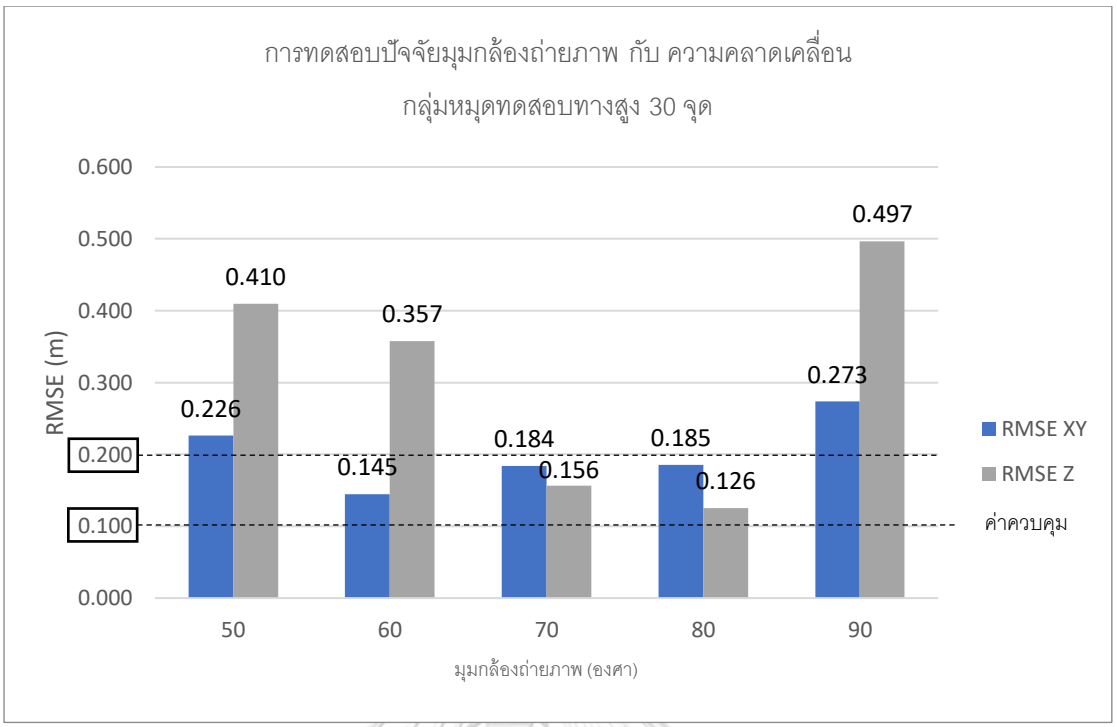
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบมุมกล้องกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร)

			ความคลาดเคลื่อนแนวราบ		**ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง**	
ตัวอย่าง	มุมกล้อง	จำนวนภาพ	RMSE	SD	RMSE	SD
1	50	58	0.226	0.135	0.410	0.381
2	60	60	0.145	0.062	0.357	0.256
3	70	58	0.184	0.081	0.156	0.156
4	80	60	0.185	0.078	0.126	0.111
5	90	59	0.273	0.077	0.497	0.155

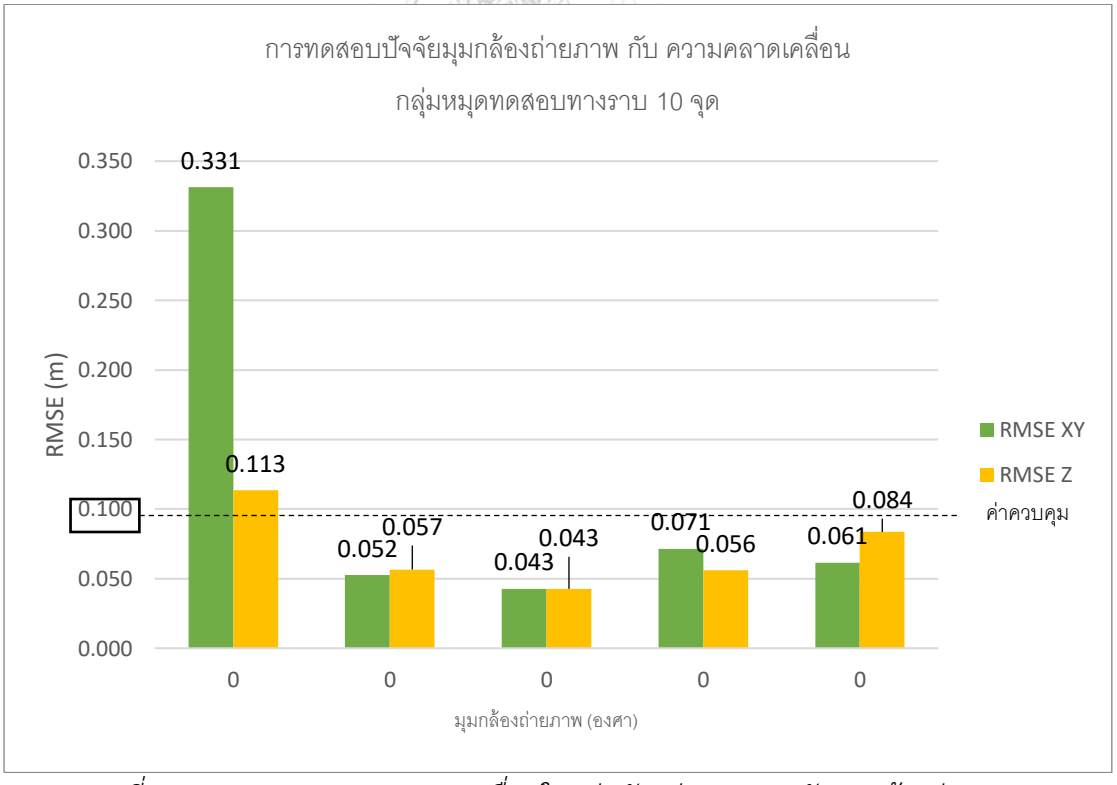
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบมุมกล้องกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร)

			ความคลาดเคลื่อนแนวราบ		**ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง**	
ตัวอย่าง	มุมกล้อง	จำนวนภาพ	RMSE	SD	RMSE	SD
1	50	58	0.113	0.051	0.331	0.133
2	60	60	0.057	0.033	0.052	0.033
3	70	58	0.043	0.019	0.043	0.012
4	80	60	0.056	0.031	0.071	0.055
5	90	59	0.084	0.035	0.061	0.018

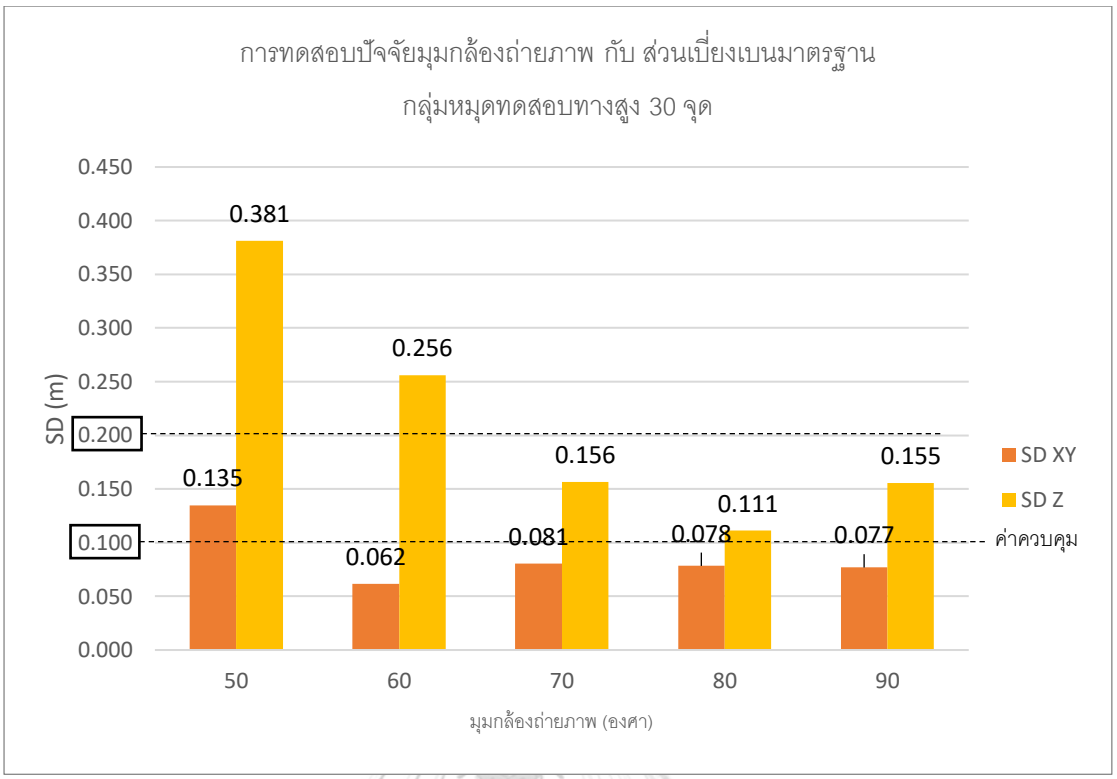
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



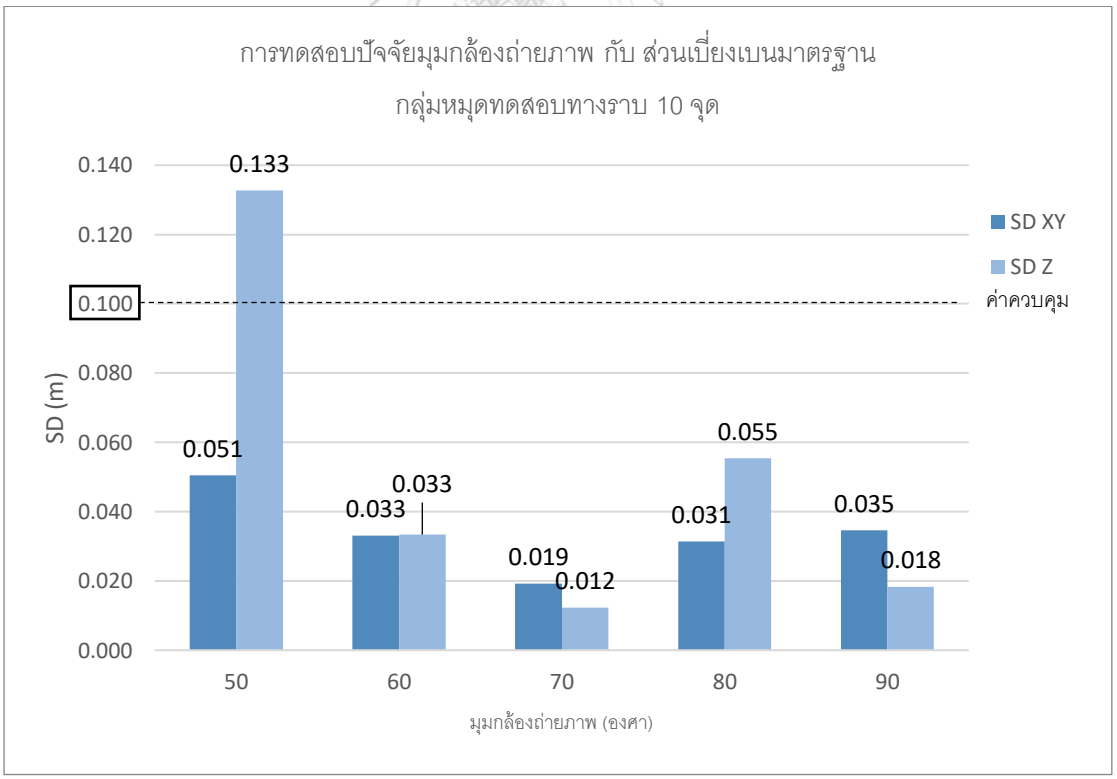
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับมุมกล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับมุมกล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับมุมกล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับมุมกล้องถ่ายภาพ

งานวิจัยนี้นำข้อมูลใน ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 มาสร้างกราฟ พบว่าแบบจำลองมีแนวโน้มที่จะได้ความคลาดเคลื่อนเชิงมิติลดลงเมื่อเพิ่มมุมกล้องถ่ายภาพ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มหมุดทดสอบทางสูงมีค่ามากกว่า 10 เซนติเมตร จนไปถึง 50 เซนติเมตร โดยค่าเฉพาะในแนวดิ่ง

ในกลุ่มหมุดทดสอบทางสูง รูปที่ 4.9 แสดงความคลาดเคลื่อนในแนวราบและดิ่งจะลดต่ำสุดที่มุมกล้อง 70 และ 80 องศา อยู่ในช่วง 10-20 เซนติเมตร และในรูปที่ 4.11 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนในแนวราบและแนวดิ่งเริ่มงที่เมื่อเพิ่มมุมกล้องถ่ายภาพตั้งแต่ 70 องศาขึ้นไป

เมื่อเปรียบเทียบผลจากทั้งสองกลุ่มหมุดทดสอบ พบว่าสามารถควบคุมแบบจำลองสภาพพื้นที่กลุ่มหมุดทดสอบทางสูงมีความคลาดเคลื่อนในแนวราบ ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแนวดิ่ง มากกว่า 10 เซนติเมตร

ต่อมาเมื่อพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนในแนวราบและดิ่ง รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแนวราบและแนวดิ่งจะมีค่าต่ำกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มมุมกล้องถ่ายภาพมากกว่า 60 องศาขึ้นไป และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อตั้งค่ามุมกล้องที่ 70 องศาจากแนวราบ

งานวิจัยนี้สรุปเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองพื้นที่ทดสอบสำหรับการทดสอบปัจจัยมุมกล้องถ่ายภาพ ตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนมุมกล้องถ่ายภาพไม่ได้มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังนั้นเวลาที่ใช้สร้างแบบจำลองจึงไม่มีผลต่อการพิจารณาเลือกมุมกล้องถ่ายภาพที่เหมาะสมในการทดสอบนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.7 สรุปเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบปัจจัยมุมกล้องถ่ายภาพ

ตัวอย่าง	**มุมกล้อง**	**จำนวนภาพ**	**เวลาที่ใช้ (นาที)**		
			เก็บข้อมูล	ประมวลผลภาพถ่าย	**รวม**
1	50	58	10.8	243.6	**254.5**
2	60	60	11.0	249.3	**260.3**
3	70	58	10.8	239.8	**250.6**
4	80	60	11.0	247.7	**258.7**
5	90	59	10.9	243.1	**254.1**

เมื่อพิจารณาผลทดสอบจากสองกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน งานวิจัยนี้สรุปว่าการตั้งค่ามุมกล้องที่ 70 องศา เป็นค่าที่เหมาะสมในการเก็บภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้

4.5.2 จำนวนทิศทางการบิน

งานวิจัยนี้ทดสอบปัจจัยด้านทิศทางการบินของอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ โดยออกแบบทิศทางการบินที่ซ้อนทับและให้เกิดมุมภาพถ่ายที่แตกต่างกัน และนำมาประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลอง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองให้ถ่ายภาพจากทิศทางการบินที่แตกต่างกันโดยมีจำนวนทิศทางจาก 1, 2, 3 และ 4 ทิศทาง โดยควบคุมให้มุม Azimuth เท่ากัน เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวต่อแบบจำลองและหาการตั้งค่าเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุด โดยมีตัวแปรควบคุมคือหมุดควบคุมค่าพิกัดจำนวน 4 จุด บินที่ระดับความสูง 90 เมตร และตั้งค่ามุมกล้องที่ 70 องศา

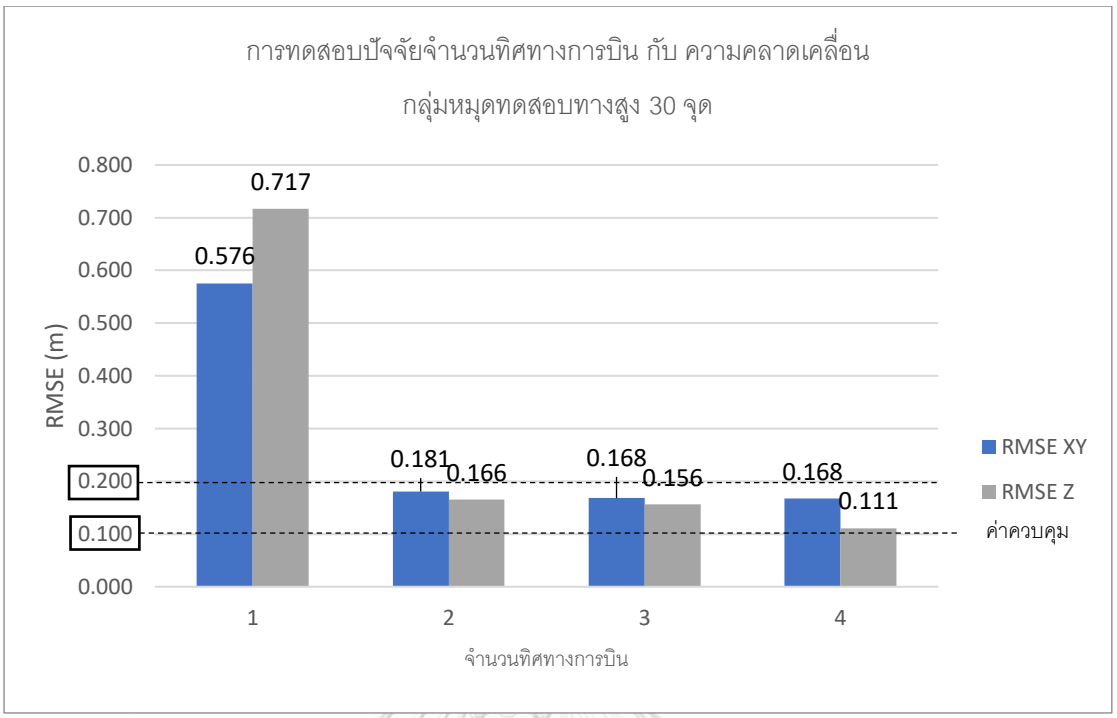
งานวิจัยนี้ทดสอบกับหมุดทดสอบทั้งสองกลุ่มและได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบจำนวนทิศทางการบินกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร)

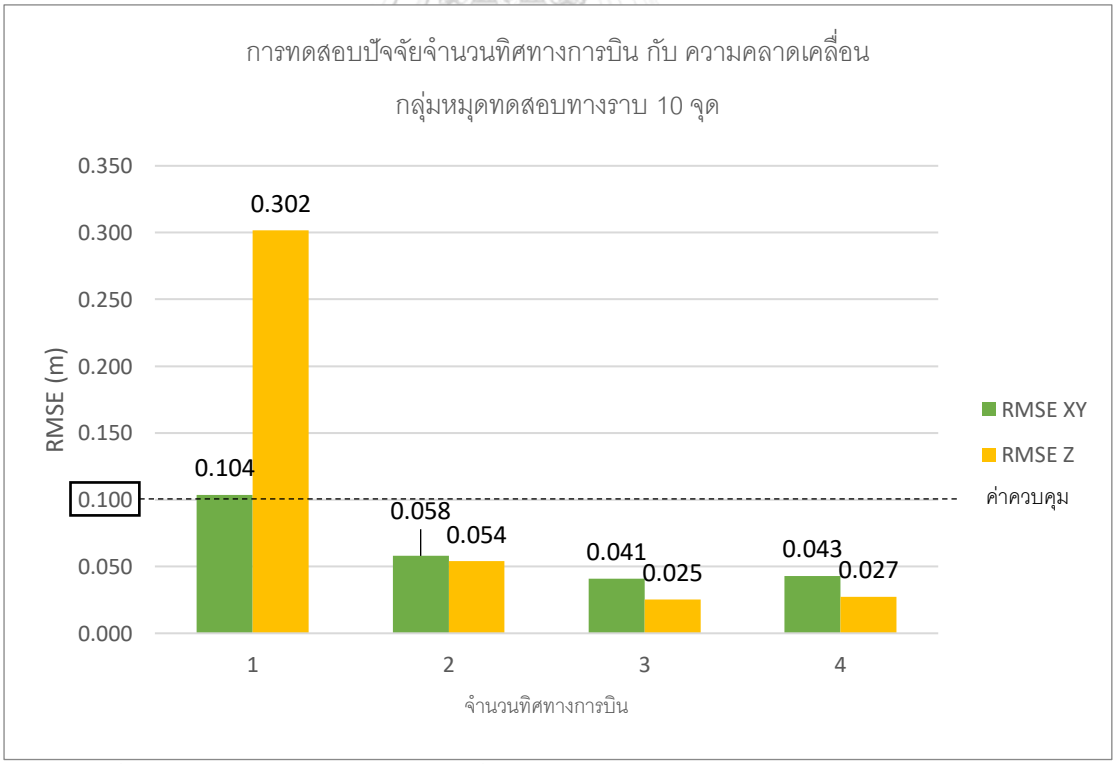
			ความคลาดเคลื่อนแนวราบ		**ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง**	
ตัวอย่าง	ทิศทาง	จำนวนภาพ	RMSE	SD	RMSE	SD
1	1	33	0.576	0.137	0.717	0.536
2	2	59	0.181	0.080	0.166	0.149
3	3	99	0.168	0.035	0.156	0.077
4	4	118	0.168	0.051	0.111	0.086

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบจำนวนทิศทางการบินกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร)

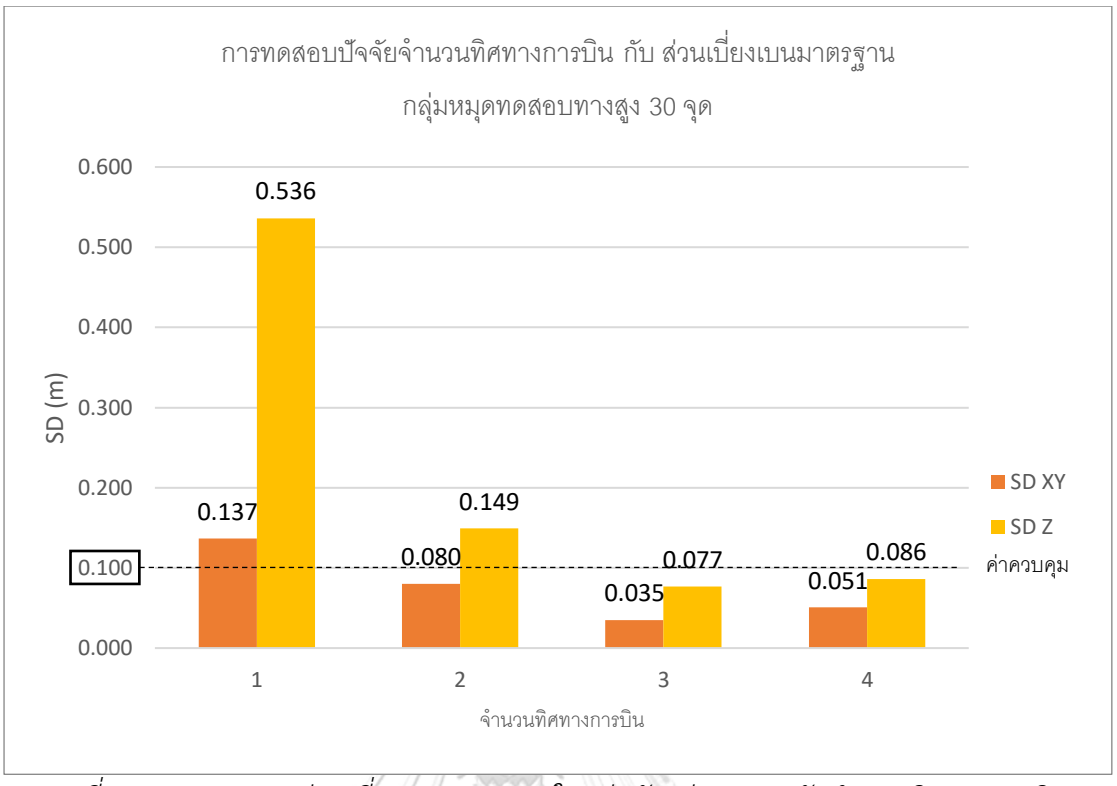
			ความคลาดเคลื่อนแนวราบ		**ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง**	
ตัวอย่าง	ทิศทาง	จำนวนภาพ	RMSE	SD	RMSE	SD
1	1	33	0.104	0.046	0.302	0.280
2	2	59	0.058	0.027	0.054	0.022
3	3	99	0.041	0.023	0.025	0.012
4	4	118	0.043	0.019	0.027	0.013



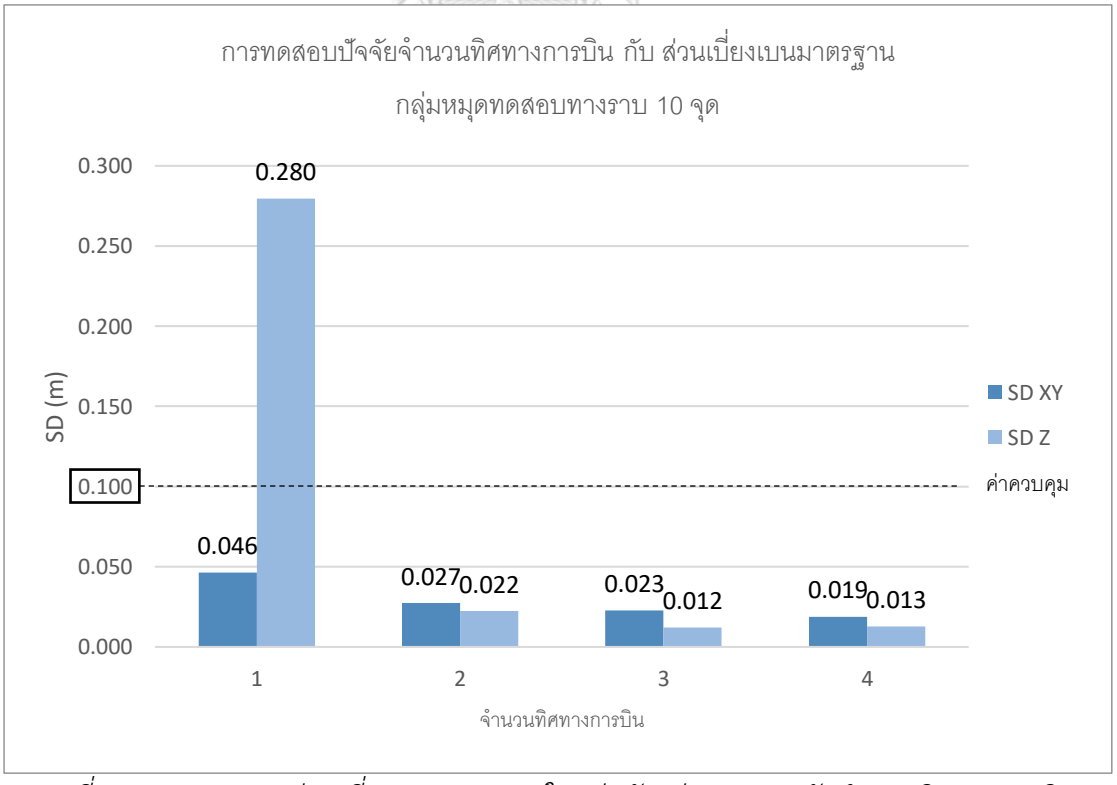
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับจำนวนทิศทางการบิน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับจำนวนทิศทางการบิน



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางสูงกับจำนวนทิศทางการบิน



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มตัวอย่างทางราบกับจำนวนทิศทางการบิน

งานวิจัยนี้นำข้อมูลใน ตารางที่ 4.8 และ

ตารางที่ 4.9 มาสร้างกราฟ พบว่าแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนเชิงมิติลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนทิศทางการบิน เมื่อพิจารณาจากกราฟใน รูปที่ 4.13 พบว่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มหมุดทดสอบทางสูงมีค่ามากกว่า 10 เซนติเมตร จนไปถึง 70 เซนติเมตร

ในกลุ่มหมุดทดสอบทางสูง รูปที่ 4.13 แสดงความคลาดเคลื่อนในแนวราบและดิ่งจะลดต่ำสุดที่จำนวนทิศทางการบิน 2 ทิศทางขึ้นไปโดยมีค่าอยู่ในช่วง 10-20 เซนติเมตร และในกราฟ รูปที่ 4.15 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มทิศทางการบินตั้งแต่ 3 ทิศทางขึ้นไป

ในกลุ่มหมุดทดสอบทางราบ เมื่อพิจารณาจากกราฟใน รูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.16 ความคลาดเคลื่อนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแนวราบและแนวดิ่งจะมีค่าต่ำกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อเก็บข้อมูลที่ 2 ทิศทางขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าในการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ซึ่งมีวัตถุภาคพื้นที่ดินเป็นหลัก การตั้งค่าให้อากาศยานไร้คนบังคับเก็บข้อมูลตั้งแต่ 2 ทิศทางมีความเพียงพอแล้ว

ตารางที่ 4.10 สรุปเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการทดสอบปัจจัยจำนวนทิศทางการบิน

ตัวอย่าง	**ทิศทาง**	**จำนวนภาพ**	**เวลาที่ใช้ (นาที)**		
			เก็บข้อมูล	ประมวลผลภาพถ่าย	**รวม**
1	1	33	3.7	15.0	**18.7**
2	2	59	7.0	27.6	**34.6**
3	3	99	11.0	50.6	**61.5**
4	4	118	13.9	62.3	**76.2**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้ได้สรุปเวลาที่ใช้สร้างแบบจำลองในการทดสอบปัจจัยทิศทางการบินในตารางที่ 4.10 จากตารางจะเห็นว่าการเพิ่มทิศทางบินเก็บข้อมูลจะทำให้จำนวนภาพถ่ายเพิ่มมากขึ้น ใช้เวลาเก็บข้อมูลและสร้างแบบจำลองนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบจำนวนทิศทางการบินที่ 2 และ 3 ทิศทาง ในการบินแบบ 2 ทิศทางจะใช้สร้างแบบจำลองเวลา 34.6 นาที การเพิ่มเป็น 3 ทิศทางใช้เวลาเป็น 61.5 นาที (เพิ่ม 27 นาที คิดเป็น +78%) จากกราฟ รูปที่ 4.15 จะทำให้แบบจำลองมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มหมุดทดสอบทางสูงแนวดิ่งลดลงไปครึ่งหนึ่ง (14.9 เซนติเมตร เป็น 7.7 เซนติเมตร) และแนวราบ (8.0 เซนติเมตร เป็น 3.5 เซนติเมตร) อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.16 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับกลุ่มหมุดทดสอบทางราบการเพิ่มทิศทางการบินแทบไม่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้สรุปว่าการตั้งค่าใบอากาศยานไร้คนบังคับเก็บข้อมูลด้วยการบินแบบ 3 ทิศทางมีความเหมาะสม เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลทดสอบของทั้งสองกลุ่มหมุดทดสอบ การเพิ่มทิศทางการบินจาก 2 ทิศทางเป็น 3 ทิศทาง ด้วยการเพิ่มระยะเวลารวมในการสร้าแบบจำลองอีก 78% ทำให้ในกลุ่มหมุดทดสอบทางสูงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงไปได้ครึ่งหนึ่งซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ในโครงการก่อสร้างกรณีศึกษาประเภททางยกระดับซึ่งมีโครงสร้างที่มีความสูงจำนวนมาก

4.5.3 สรุปผลการทดสอบปัจจัย

จากการทดสอบในข้างต้น งานวิจัยนี้พบว่าชุดอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแบบจำลองพื้นที่ทดสอบให้มีความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมตามทรัพยากรที่มีเมื่อให้อากาศยานไร้คนบังคับถ่ายภาพที่มุมกล้อง 70 องศา จำนวน 3 ทิศทางการบิน

แผนวิธีการบินนี้จะนำไปทดสอบซ้ำอีกครั้ง เพื่อใช้อ้างอิงเป็นความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองพื้นที่ของระบบ

4.6 การทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติในการสร้างแบบจำลองของระบบ

เนื่องจากข้อจำกัดด้านความปลอดภัยด้านระดับเพดานบินของพื้นที่กรณีศึกษา ระดับเพดานบินต่ำสุดที่อากาศยานไร้คนบังคับสามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยอยู่ที่ 60 เมตร แต่ไม่เกิน 90 เมตร ตามข้อกำหนดของกฎหมาย

เพื่อทดสอบวิธีการสร้างแบบจำลองก่อนนำไปใช้จริงกับโครงการก่อสร้างกรณีศึกษา งานวิจัยนี้จึงทำการเก็บข้อมูลพื้นที่ทดสอบด้วยแผนการบินถ่ายภาพที่มุมกล้อง 70 องศา จำนวน 3 ทิศทางการบิน ที่ระดับเพดานบิน 60 เมตร จำนวน 8 ครั้ง ซึ่งให้ผลการทดสอบดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติกับกลุ่มตัวอย่างทางสูง (หน่วย: เมตร)

ตัวอย่าง	จำนวนภาพ	ความคลาดเคลื่อนแนวราบ	ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง
1	198	0.181	0.175
2	195	0.149	0.194
3	197	0.172	0.117
4	197	0.224	0.078
5	196	0.195	0.151
6	198	0.156	0.153
7	196	0.236	0.283
8	196	0.158	0.110
ค่าเฉลี่ย		**0.184**	**0.157**

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบความคลาดเคลื่อนเชิงมิติกับกลุ่มตัวอย่างทางราบ (หน่วย: เมตร)

ตัวอย่าง	จำนวนภาพ	ความคลาดเคลื่อนแนวราบ	ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง
1	198	0.034	0.028
2	195	0.038	0.048
3	197	0.030	0.014
4	197	0.031	0.012
5	196	0.036	0.021
6	198	0.032	0.036
7	196	0.037	0.024
8	196	0.036	0.010
ค่าเฉลี่ย		**0.034**	**0.024**

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองที่สร้างได้จากชุดอุปกรณ์นี้กับพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าจากหมุดทดสอบทางสูง 30 จุด แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนในแนวราบเฉลี่ยที่ 0.184 เมตร สูงสุดที่ 0.236 เมตร และความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งเฉลี่ยที่ 0.157 เมตร สูงสุดที่ 0.283 เมตร และกลุ่มหมุดทดสอบทางราบ 10 จุด แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนในแนวราบเฉลี่ยที่ 0.034 เมตร สูงสุดที่ 0.037 เมตร และความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งเฉลี่ยที่ 0.038 เมตร สูงสุดที่ 0.048 เมตร

4.7 สรุปการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแบบจำลอง งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยมุมกล้องถ่ายภาพและจำนวนทิศทางการบินส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนเชิงมิติที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มหมุดทดสอบ จากค่าสถิติแสดงให้เห็นว่ากลุ่มหมุดทางสูงจะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่ากลุ่มหมุดทางราบเสมอ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการที่เป้าทดสอบที่อยู่สูงจากพื้นดิน 16-27 เมตร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายกว่าหมุดทดสอบทางราบ

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง แต่อย่างไรก็ตามผู้ใช้จะต้องคำนึกถึงความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านี้และเลือกนำแบบจำลองไปใช้ให้เหมาะสมกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติเพื่อการวางแผนวิธีทำงาน

บทนี้นำเสนอขั้นตอนการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติเพื่อการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง โดยการสร้างแผนวิธีทำงานก่อสร้างอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากวิศวกรผู้บริหารโครงการ เอกสารแบบก่อสร้าง และการลงพื้นที่หน้างาน จากนั้นงานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลที่สังเคราะห์ได้มาประกอบในการสร้างต้นแบบเสมือน เพื่อการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

การประยุกต์ใช้แนวคิดกับกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบเสมือนจำลองสำหรับ 2 กิจกรรมก่อสร้างเพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่

แบบจำลองสภาพพื้นที่จากกลุ่มจุดสามมิติจะแสดงรายละเอียดของพื้นที่ว่างในช่วงเวลาที่สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงองค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่ปรากฏในแบบและรายงานการสำรวจ ซึ่งข้อมูลของพื้นที่ดังกล่าวจะนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนพื้นที่กองเก็บวัสดุก่อสร้างของกรณีศึกษาที่ 1 โดยการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงการใช้พื้นที่ของแบบจำลองเครื่องจักรและแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างในอนาคต

ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติสามารถนำมาสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขและนำไปใช้วางแผนการทำงานที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นกิจกรรมที่ต้องการข้อมูลสภาพพื้นที่ในการวางแผนให้สามารถทำงานได้ งานวิจัยนี้ทดสอบระบบกับกิจกรรมขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานขนาดใหญ่ด้วยรถบรรทุกซึ่งจะนำเสนอในกรณีศึกษาที่ 2 ต้นแบบเสมือนที่ได้จากการการใช้ซอร์ฟแวร์ควบคุมแบบจำลองช่วยให้สามารถออกแบบวิธีการทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

5.1 รายละเอียดของโครงการกรณีศึกษา

5.1.1 วัตถุประสงค์โครงการ

โครงการก่อสร้างทางพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) ในความดูแลของกรมทางหลวง มีทางช่องทางจราจรฝั่งละ 4-6 ช่องทาง รวมระยะทางประมาณ 196 กิโลเมตร

5.1.2 เงื่อนไขลักษณะทางกายภาพ

บริเวณช่วงพื้นที่งานก่อสร้างกรณีศึกษา แบ่งออกเป็นงานโครงสร้างถนนบนผิวดินและโครงสร้างสะพานเหนือพื้นดิน ปัจจุบันเป็นพื้นที่ก่อสร้างเป็นถนนทางหลวงซึ่งยังคงมีการจราจรอยู่

จากการลงพื้นที่หน้างานพบว่าโครงการมีข้อจำกัดในการดำเนินงานก่อสร้าง ได้แก่

1) ความสูงต่ำของพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศบริเวณไหล่เขา ทำให้มีการปรับพื้นที่ชั่วคราวบ่อยครั้งเพื่ออำนวยการทำงานก่อสร้าง การตัดถมดินชั่วคราวเหล่านี้ทำให้สภาพพื้นที่โครงการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2) การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมพื้นที่ก่อสร้างถนนที่มีระยะทางมากและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ข้อมูลที่ได้จากวิธีสำรวจแบบทั่วไปจะมีข้อจำกัดในด้านความละเอียดครบถ้วนของข้อมูลและความไม่เป็นปัจจุบัน

3) พื้นที่โครงการซึ่งตั้งอยู่กลางระหว่างถนนทางหลวงเดิมทำให้พื้นที่ทำงานมีจำกัด การวางแผนกิจกรรมก่อสร้างใดๆที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ที่แคบจำเป็นต้องเลือกวิธีก่อสร้างที่เหมาะสม ไม่กระทบต่อพื้นที่ข้างเคียง ไม่กระทบต่อการทำงานในกิจกรรมอื่นๆ และมีความปลอดภัย

5.1.3 ความเหมาะสมในการเลือกโครงการกรณีศึกษา

จากข้อจำกัดในการดำเนินงานก่อสร้างที่กล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้เลือกใช้การเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อถ่ายภาพมุมสูงของพื้นที่โครงการบริเวณที่ต้องการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การใช้อากาศยานไร้คนบังคับจะประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่เมื่อเทียบกับวิธีสำรวจภาคพื้นดินแบบทั่วไป นอกจากนี้การใช้อากาศยานไร้คนบังคับสามารถเก็บข้อมูลซ้ำได้บ่อยครั้งทำให้ข้อมูลสภาพพื้นที่มีความเป็นปัจจุบัน และสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

5.2 รายละเอียดของกิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ลงพื้นที่และเข้าสัมภาษณ์วิศวกรผู้บริหารโครงการเพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น พร้อมศึกษาแบบก่อสร้างและแผนงาน เพื่อสร้างแบบจำลองขั้นตอนการทำงานโดยแบ่งรายละเอียดของกิจกรรมก่อสร้างที่จะเกิดขึ้นในกรณีศึกษาได้ดังนี้

5.2.1 กรณีศึกษาที่ 1: งานจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน

แผนการทำงานของโครงการก่อสร้างในกรณีศึกษามีวิธีก่อสร้างโดยใช้โครงเหล็กเลื่อนยกชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จในแนวดิ่ง เพื่อลดภาระเรื่องค่าใช้จ่ายในการเก็บในโรงงาน ทางผู้รับเหมาจึงมีแผนที่จะนำชิ้นส่วนสะพานที่หล่อเสร็จแล้วมาเก็บไว้ภายในพื้นที่ก่อสร้างที่ระหว่างเสาสะพานล่วงหน้า

อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดด้านสภาพพื้นที่ของโครงการที่แคบและตั้งอยู่บนไหล่เขาสูง ทำให้พื้นที่ว่างสำหรับทำงานมีจำกัด การจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วนไม่ให้กีดขวางการทำงานหรือเส้นทางขนส่งและไม่ทำให้ชิ้นส่วนเสียหายจึงมีความสำคัญต่อกิจกรรมก่อสร้างนี้

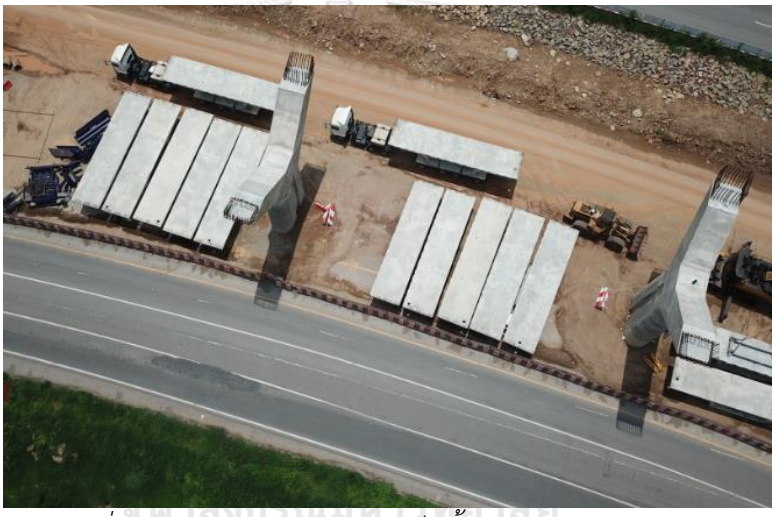
ต้นแบบเสมือนสามารถแสดงผังการวางชิ้นส่วนในพื้นที่ว่างที่มีอยู่ในแบบจำลองสภาพพื้นที่ เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลในแบบจำลองสภาพพื้นที่ทำให้ทราบถึงขอบเขตพื้นที่ว่างหรือระบุสิ่งกีดขว้างได้ก่อนเริ่มงานจริงซึ่งสามารถนำมาใช้วางแผนกระบวนการทำงานได้

พื้นที่มีความเป็นไปได้ในการกองเก็บคือช่วงระหว่างเสาตอม่อสะพาน เนื่องจากโครงเหล็กเลื่อนสามารถยกติดตั้งได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องใช้รถปั้นจั่นช่วยเคลื่อนย้ายและลดการใช้รถบรรทุกลำเลียงชิ้นส่วนจากที่อื่นอีกครั้งด้วยการวางแผนเพื่อกองเก็บชิ้นส่วนสำเร็จรูปจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพพื้นที่ก่อนการวาง

ข้อมูลที่ได้จากงานสำรวจเป็นตำแหน่งพิกัดของอุปสรรคในพื้นที่ เส้นแนวถนนขนส่งวัสดุ ค่าระดับดินเพื่อการปรับพื้นที่ ความกว้างของพื้นที่ทำงาน ซึ่งนำไปใช้วางแผนให้สามารถทำงานได้และไม่ไปกระทบกับกิจกรรมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.1 เส้นทางขนส่งลำเลียงวัสดุและไหล่เขา



รูปที่ 5.2 การขนส่งและจุดกองเก็บชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.3 รถปั้นจั่นกำลังทำงานยกชิ้นส่วน

5.2.2 กรณีศึกษาที่ 2: งานติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่

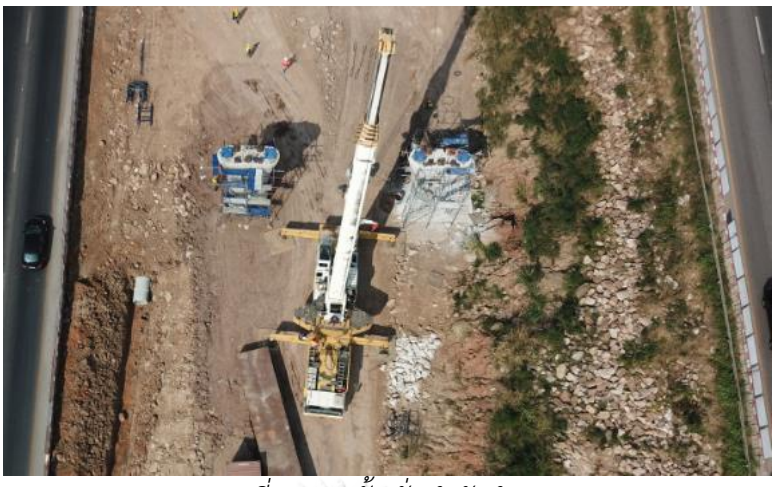
ในการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปของสะพานทางยกระดับ ขั้นตอนแรกต้องทำการก่อสร้างเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรองรับในแต่ละช่วง ซึ่งกิจกรรมหล่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กบนเสาสูงจำเป็นต้องมีการติดตั้งแบบหล่อและนั่งร้านเพื่อให้สามารถทำงานได้ แต่ในพื้นที่ก่อสร้างส่วนที่ติดกับถนนทางหลวงหมายเลข 2 ที่ไม่สามารถปิดการจราจรหรือทำโครงสร้างชั่วคราวรุกล้ำออกมานอกเขตก่อสร้าง

ผู้วางแผนโครงการจึงเลือกวิธีก่อสร้างสะพานทางยกระดับด้วยการยกแบบคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อติดตั้ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีระบบค้ำยัน และทำงานได้เร็วกว่าการทำโครงสร้างชั่วคราวและนั่งร้านเพื่อทำงานเทคอนกรีตแบบหล่อในที่

รูปที่ 5.4 โครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่ และคานสะพานชิ้นส่วนสำเร็จรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.5 กลุ่มเครื่องจักรที่ทำงานร่วมกันในงานยกชิ้นส่วนติดตั้ง



รูปที่ 5.6 รถปั้นจั่นกำลังทำงาน

ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กของโครงสร้างสะพานมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ดังนั้นการยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานควรมีการวางแผนวิธีการทำงานที่ดี เครื่องจักรที่ทำหน้าที่ยกจำเป็นต้องเลือกให้มีพิกัดการทำงานที่รองรับน้ำหนักชิ้นส่วนและมีรัศมีการทำงานที่มากเพียงพอ

รถปั้นจั่นที่เลือกใช้เป็นแบบล้อยาง มีพิกัดทำงานยกที่ 400 ตัน พื้นที่ทำงานจะขึ้นอยู่กับการกางขาหยั่ง น้ำหนักที่ทำการยก รัศมีที่ต้องการหมุน ระยะห่างจากรถสนับสนุนติดตั้งตุ้มถ่วงน้ำหนักจาก ซึ่งกิจกรรมนี้ต้องการพื้นที่ในการทำงานมากจึงต้องวางแผนจัดเตรียมพื้นที่ให้มีความปลอดภัย

เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของแบบจำลองสภาพพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงสร้างต้นแบบเสมือนแสดงแบบจำลองรถปั้นจั่นดังกล่าวในกิจกรรมยกชิ้นส่วน Pier Segment

5.2.3 กรณีศึกษาที่ 3: การทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนขนาดใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการก่อสร้างกรณีศึกษามีกิจกรรมขนส่งชิ้นส่วนก่อสร้างสะพานที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก การขนส่งชิ้นส่วนเข้าสู่พื้นที่จึงต้องมีการวางแผนวิธีการทำงาน เพื่อให้งานได้สะดวกและมีความปลอดภัย

ทางโครงการมีแผนที่จะนำชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานขนส่งผ่านทางถนนมิตรภาพเข้าทางถนนชั่วคราว โดยสภาพพื้นที่ของถนนดังกล่าวเป็นถนนดิน (Dirt Road) ทางเข้ากว้าง 5.5 เมตร ระยะทางจากถนนใหญ่ถึงพื้นที่ก่อสร้างยาว 1.8 กิโลเมตร

รูปที่ 5.7 ผังเส้นทางขนส่งของโครงการกรณีศึกษาที่ 2

ถนนดินเดิมเป็นเส้นทางสัญจรของยานพาหนะทั่วไป พื้นผิวไม่ได้รับการบดอัดและตัดเรียบ และไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งผู้บริหารโครงการมีแผนปรับปรุงด้วยการบดอัดดินลูกรังและปาดผิวเรียบ

รูปที่ 5.8 ถนนดินสำหรับขนส่งชิ้นส่วนสะพาน

ความกว้างถนนประมาณ 5 เมตร เพียงพอให้ยานพาหนะทั่วไปสามารถสวนทางกันได้เท่านั้น มีแนวร่องน้ำทำการเกษตรและต้นไม้ใหญ่ขึ้นริมทาง วงเลี้ยวออกแบบเล็กสุดที่รถบรรทุกใช้ออกแบบคือ 15 เมตร เลี้ยวตัดผ่านถนนความกว้าง 4 เลน รวมเกาะกลางถนนและร่องทางระบายน้ำฝน

5.3 การสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างและแบบจำลองเครื่องจักร

เพื่อให้ต้นแบบเสมือนมีความสมจริงสามารถใช้สื่อสารในขั้นตอนการวางแผนงานได้ งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองสามมิติของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องขึ้นมาใช้ประกอบในการวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าของกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองตามข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์วิศวกรผู้ควบคุม เอกสารภายในโครงการ และการลงพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยตนเอง งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Autodesk Revit 2018 และเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งจะประกอบไปด้วย

5.3.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

ชิ้นส่วนคานสะพามนแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นโครงสร้างหลักการก่อสร้างทางยกระดับของกรณีศึกษานี้ จากการศึกษาแบบก่อสร้างและแบบขยายของชิ้นส่วนทำให้ผู้จัยสามารถสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนสามมิติขึ้นมาได้

แบบจำลองแบบพาราเมตริกสามารถปรับเปลี่ยนความกว้าง ความยาว และความสูงได้ตามลักษณะของชิ้นส่วนที่ใช้ในโครงการ

รูปที่ 5.9 แบบจำลองชิ้นส่วนคานสะพาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

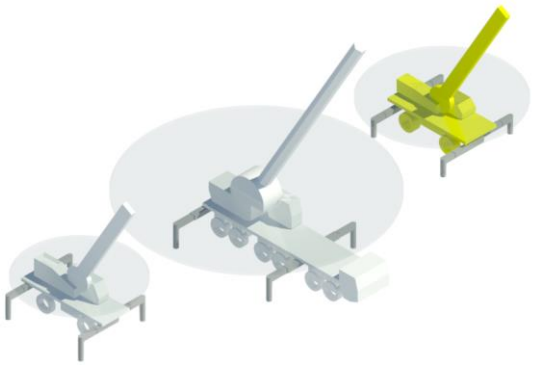
5.3.2 รถปั้นจั่นเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้ได้ลงพื้นที่หน้างาน สัมภาษณ์วิศวกรและผู้ควบคุมเครื่องจักร และศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้จึงทราบถึงชนิดเครื่องจักรที่เลือกใช้ในโครงการดังกล่าว และพบว่าหลักในการเลือกชนิดเครื่องจักรขึ้นอยู่กับพิกัดน้ำหนักที่ยกได้และระยะแขนของปั้นจั่นที่เพียงพอต่อการทำงานในกิจกรรมก่อสร้าง

ผู้ควบคุมเครื่องจักรเลือกวิธีการทำงานตามรายการงานประจำวัน โดยเลือกตำแหน่งยืนของรถปั้นจั่นที่แขนสามารถทำงานได้และต้องหมุนตัวน้อยที่สุด และต้องควบคุมให้ไม่มีน้ำหนักยกเกินกว่าพิกัดใน Lifting Capacities Charts หรือคำแนะนำของคอมพิวเตอร์ควบคุม

ตัวอย่างแบบจำลองรถปั้นจั่นแสดงในรูปที่ 5.10 แบบจำลองแสดงให้เห็นพื้นที่รถปั้นจั่นขณะกางขา การใช้งานระบบจะเริ่มต้นจากการพิจารณาน้ำหนักที่ต้องทำการยกและพื้นที่ว่างที่รถปั้นจั่น

สามารถยืนได้โดย ผู้ใช้งานเปรียบเทียบกับ Lifting Capacities Charts ประจำของรถปั้นจั่นรุ่นนั้นๆ เพื่อพิจารณาเลือกรัศมีของแขนปั้นจั่นที่จะใช้งาน แบบจำลองจะแสดงวงกลมพื้นที่ทำงานและระยะที่แขนของปั้นจั่นยื่นออกไปเพื่อใช้ในขั้นตอนการวางแผนกระบวนการทำงานก่อสร้าง



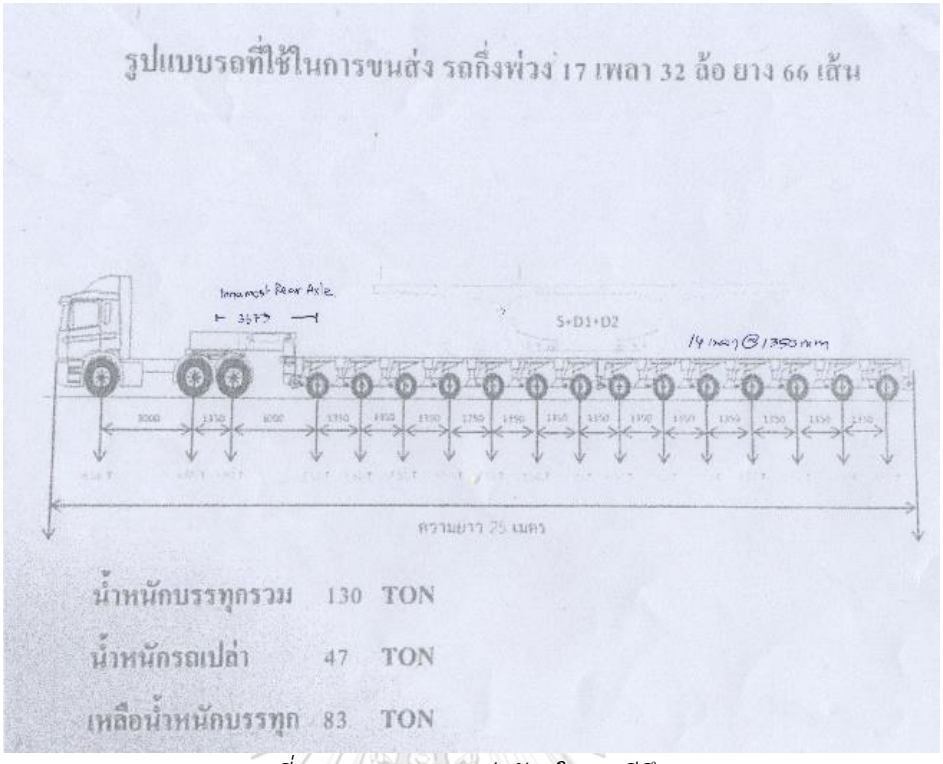
รูปที่ 5.10 แบบจำลองปั้นจั่นเคลื่อนที่

5.3.3 รถบรรทุกชิ้นส่วน

ในกิจกรรมการขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปขนาดใหญ่จากโรงงานผลิตมาที่โครงการก่อสร้างกรณีศึกษา เส้นทางขนส่งต้องมีการสำรวจสภาพเส้นทางล่วงหน้าเพื่อระบุรายละเอียดของ ความกว้าง ความชัน ระยะวงเลี้ยว ความสูงลอดใต้สะพานหรือป้ายจราจร เพื่อให้สามารถขนส่งได้จริงและมีความปลอดภัย

งานวิจัยนี้ได้สัมภาษณ์ผู้ควบคุมโครงการและศึกษาแบบรถขนส่งจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนพบว่ารถบรรทุกที่ใช้ในกรณีศึกษามีความยาว 25 เมตร และมีวงเลี้ยวออกแบบ 18 เมตร พื้นที่ก่อสร้างจะต้องมีการปรับสภาพถนนให้สามารถรองรับการขนส่งได้ การขยายขอบทาง การบดอัด และตัดเรียบ ให้มีสภาพที่ใช้งานได้กับชนิดของรถ ซึ่งในกรณีของรถบรรทุกขนาดใหญ่ ขนาดความกว้างของทางและรัศมีทางเลี้ยวเป็นสิ่งที่ต้องมีการออกแบบเพื่อให้การขนส่งสามารถทำได้ ขนาดรถบรรทุกและวงเลี้ยวจากแบบประจำรถจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรควบคุมในการออกแบบโครงสร้างถนนขนส่งวัสดุนี้

ในขั้นแรกงานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างแบบจำลองรถบรรทุกด้วยโปรแกรม Autodesk Naviswork เพื่อสร้างต้นแบบเสมือนของกิจกรรมขนส่ง อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ได้ไม่สามารถแสดงวิธีการเลี้ยวได้ตรงกับความเป็นจริง ต่อมางานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรม AutoCAD Civil 3D – Vehicle Tracking ซึ่งสนับสนุนการออกแบบวงเลี้ยวของยานพาหนะตามพารามิเตอร์ออกแบบ



รูปที่ 5.11 แบบรถขนส่งวัสดุในกรณีศึกษา

5.4 การสังเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่จากรูปกลุ่มจุดสามมิติของวัตถุองค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างด้วยอากาศยานไร้คนบังคับ ข้อมูลที่สังเคราะห์ได้จากแบบจำลองพื้นที่สามารถนำมาใช้วางแผนวิธีการทำงานก่อสร้างได้

ตัวอย่างของข้อมูลที่สังเคราะห์ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่มีดังนี้

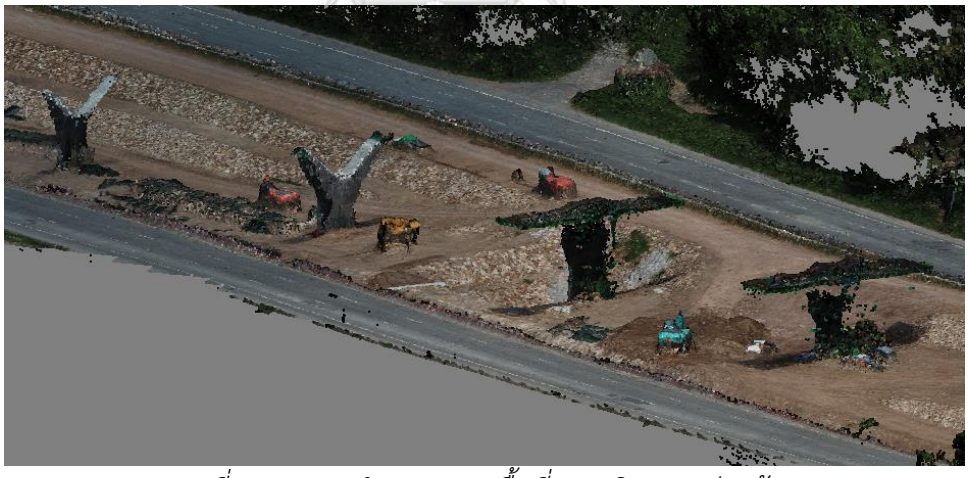
5.4.1 สถานภาพปัจจุบันของงานโครงสร้าง

กลุ่มจุดสามมิติสามารถแสดงแบบหล่อคอนกรีตและพื้นผิวคอนกรีตของเสาโครงสร้างสะพานเพื่อใช้ระบุสถานภาพของกิจกรรมก่อสร้าง ความก้าวหน้าของการทำงาน ปริมาณงานที่ทำได้ รูปที่ 5.12 ก.) แสดงแบบจำลองเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสองต้นที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง ข.) ยังไม่ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตเพื่อก่อสร้างคานขวางส่วนยอดเสา

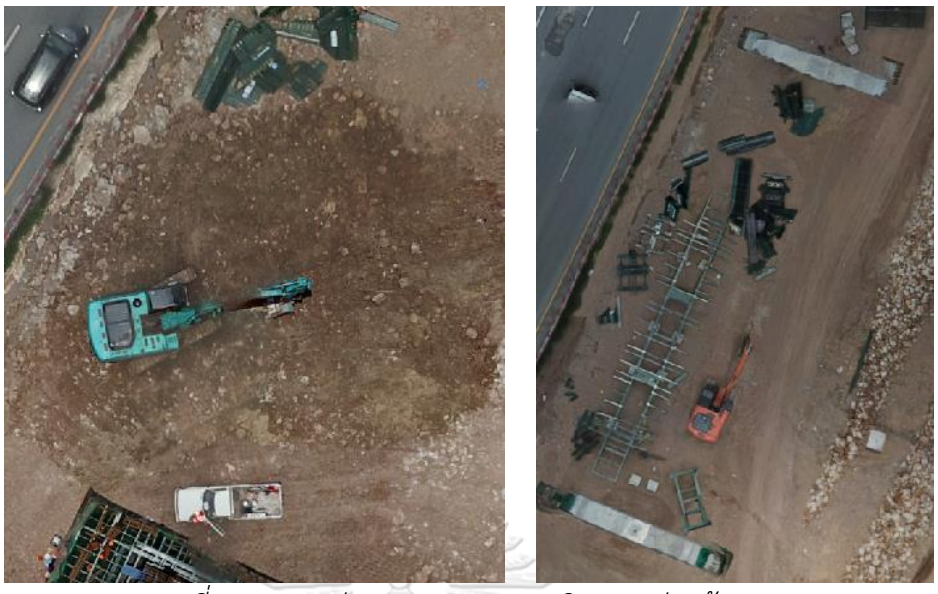
รูปที่ 5.12 เสาสะพานในแบบจำลองสภาพพื้นที่

5.4.2 พื้นผิวและค่าระดับ

รูปที่ 5.13 แสดงแบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงกิจกรรมก่อสร้างของพื้นที่กรณีศึกษาแสดงข้อมูลกิจกรรมงานดินตัดดินถม กองดินที่รอการขนย้าย เนินดินเดิม เส้นทางขนส่งวัสดุ และพื้นที่เตรียมกองเก็บวัสดุ งานวิจัยนี้สามารถระบุกิจกรรมก่อสร้างที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศ รูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงกิจกรรมก่อสร้าง

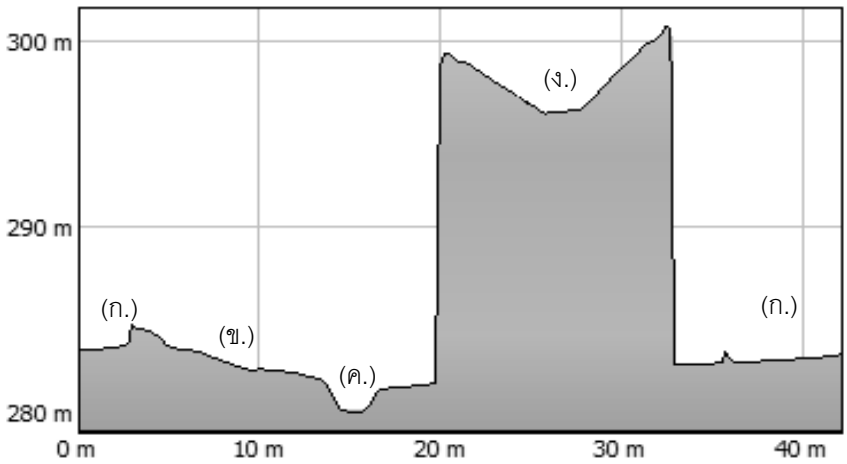


รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงกิจกรรมก่อสร้าง

ก.) งานดินเพื่อพื้นผิวทางขนส่งวัสดุ

ข.) พื้นที่ประกอบแบบหล่อคานขวาง

นอกจากนั้นข้อมูลกลุ่มจุดสามมิตินี้สามารถนำไปสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข แผนที่เส้นชั้นความสูง และภาพหน้าตัด ซึ่งให้รายละเอียดเพิ่มเติมถึงสภาพพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างภาพหน้าตัดรูปที่ 5.15 ของพื้นที่ก่อสร้างซึ่งจะแสดงค่าระดับของ ก.) พื้นผิวถนนภายนอกโครงการ ข.) เส้นทางขนส่งวัสดุ ค.) ร่องระบายน้ำ และ ง.) เสาโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 5.15 ภาพหน้าตัดที่ได้จากแบบจำลอง

5.4.3 พื้นที่กองเก็บวัสดุ

จากการสอบถามผู้ควบคุมโครงการเกี่ยวกับกิจกรรมยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานด้วยรถปั้นจั่นเคลื่อนที่ ทำให้งานวิจัยนี้ทราบถึงแผนผังการกองเก็บและขนาดรถปั้นจั่นที่จะใช้ทำงาน ผู้ควบคุมโครงการให้ข้อคิดเห็นว่าการวางแผนพื้นที่กองเก็บจะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการขนส่งด้วยรถบรรทุกชิ้นส่วนและขั้นตอนยกขึ้นลงด้วยรถปั้นจั่นให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวก ผู้ควบคุมรถปั้นจั่นอธิบายการเลือกตำแหน่งทำงานยกโดยให้รถปั้นจั่นหมุนตัวและใช้รัศมีการยกน้อยที่สุดโดยควบคุมให้น้ำหนักยกอยู่ในพิกัดควบคุมความปลอดภัย

5.4.4 องค์ประกอบนอกเขตพื้นที่ก่อสร้าง

ในงานขนส่งวัสดุขนาดใหญ่ผ่านพื้นที่สาธารณะต้องมีการสำรวจเพื่อทำแบบขออนุญาต จากการสำรวจพื้นที่ทำให้พบสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่ก่อนและเป็นอุปสรรคในการทำงาน เช่น ทางเท้า แนวเสาไฟฟ้า โครงสร้างร่องระบายน้ำ แผงกัน และเกาะกลางถนน

งานปรับพื้นที่ชั่วคราวเพื่อให้สามารถทำงานได้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องได้รับการวางแผนและขออนุญาตเจ้าพนักงานประจำเขตนั้นๆ โดยการแนบเอกสารแบบแปลนพื้นที่และรายละเอียดกิจกรรมก่อสร้างที่ทำเสนอต่อเจ้าพนักงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขออนุญาตดำเนินการรื้อถอนเคลื่อนย้าย หรือปรับปรุงพื้นที่ ให้สามารถทำงานได้

รูปที่ 5.16 โครงสร้างร่องระบายน้ำที่กึ่งกลางถนนทางหลวง และแผงกั้น

5.5 ผลลัพธ์การทำวิจัย

5.5.1 กรณีศึกษาที่ 1: งานจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน

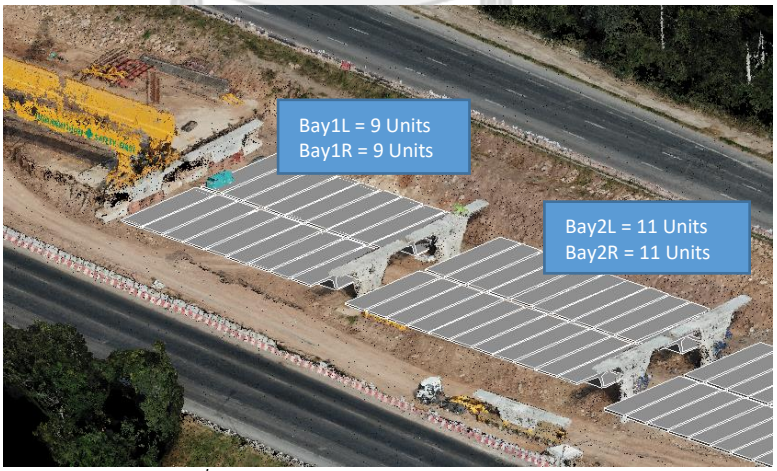
งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการจัดวางชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในพื้นที่ว่างระหว่างเสาสะพาน ด้วยต้นแบบเสมือนที่แสดงในแบบจำลองสามมิติแก่ผู้บริหารโครงการ ต้นแบบเสมือนสามารถสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อประกอบการวางแผนงานก่อสร้างได้ดังนี้

1) แสดงจำนวน ตำแหน่ง รูปแบบการวางกองเก็บชิ้นส่วนสะพาน

พื้นที่ว่างที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองสภาพพื้นที่ ณ เวลาที่อากาศยานไร้คนบังคับบินเก็บข้อมูล แบบจำลองสภาพพื้นที่สามารถใช้ระบุอุปสรรคกีดขวาง วัดระยะและขนาดพื้นที่ว่างที่เหลือเพื่อใช้เป็นพื้นที่กองเก็บวัสดุได้

การผสานระหว่างแบบจำลองสภาพพื้นที่และแบบจำลองชิ้นส่วนสะพานทำให้รายงานจำนวนสูงสุดของชิ้นส่วนที่สามารถกองเก็บในพื้นที่ก่อสร้างได้ และปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางได้ภายในต้นแบบเสมือน

งานวิจัยนี้ได้จัดทำรายงานและภาพประกอบ เพื่อนำเสนอแก่ผู้บริหารโครงการและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยแสดงเป็นภาพมุมสูง ภาพแปลน และจำนวนชิ้นส่วนเมื่อนำมาวางเต็มพื้นที่ (รูปที่ 5.17) ต้นแบบเสมือนสามารถใช้สนับสนุนวางแผนการกองเก็บวัสดุ ในการทดสอบปรับเปลี่ยนจำนวนหรือแนวการวางชิ้นส่วน



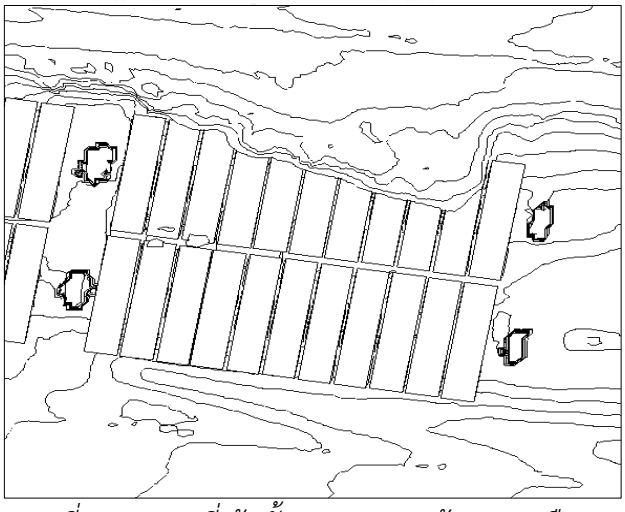
รูปที่ 5.17 ต้นแบบเสมือนงานกองเก็บวัสดุ

2) การซ้อนทับของแบบจำลองทำให้เห็นอุปสรรคโดยรอบ

งานวิจัยนี้พบว่าแบบจำลองเกิดการซ้อนทับกันในบริเวณที่ยังไม่มีการปรับพื้นที่ แนวคันดินไหล่เขาที่ปรากฏในกลุ่มจุดสามมิติเกิดการซ้อนทับขึ้นกับแบบจำลองชิ้นส่วนเมื่อนำมาวางจัดเรียงตามแผนงานของโครงการกรณีศึกษา รูปที่ 5.18 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพพื้นที่ก่อนเพื่อให้มีที่ว่างมากพอในการนำชิ้นส่วนกองเก็บโดยไม่ให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตราย

รูปที่ 5.18 ภาพเนินดินที่กีดขวางการทำงานในต้นแบบเสมือน

ต้นแบบเสมือนสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่เส้นชั้นความสูงเพื่ออธิบายค่าระดับ รูปที่ 5.19 เพื่อสนับสนุนในการออกคำสั่งปรับพื้นที่กองเก็บวัสดุได้



รูปที่ 5.19 แผนที่เส้นชั้นความสูงจากต้นแบบเสมือน

3) เส้นทางหลังการปรับแผนการใช้พื้นที่

หลังการปรับแผนการใช้พื้นที่ทำให้เส้นทางจราจรภายในโครงการมีการเปลี่ยนแปลงไป ต้นแบบเสมือนจะแสดงพื้นที่ที่ถูกใช้งานเป็นจุดกองเก็บวัสดุ และเส้นทางถนนใหม่ที่ใช้เป็นช่องทางขนส่งใหม่หลังการปรับแผน รูปที่ 5.20 ต้นแบบเสมือนสามารถวัดความกว้างเส้นทางขนส่งที่เหลืออยู่หลักจากนำชิ้นส่วนมากองเก็บซึ่งให้รายละเอียดในการวางแผนเบี่ยงเส้นทางขนส่งล

รูปที่ 5.20 ต้นแบบเสมือนจำลองการวางชิ้นส่วนสะพานและเส้นทางจราจร

4) สรุปผลกรณีศึกษาที่ 1

กิจกรรมวางแผนจัดการพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วนและพื้นที่ทำงานก่อสร้างโดยใช้กลุ่มจุดสามมิติ งานวิจัยนี้พบว่ากลุ่มจุดสามมิติมีความสามารถในการถ่ายถอดข้อมูลสภาพพื้นที่ เพื่อนำไปใช้วางแผนกำหนดพื้นที่ว่างสำหรับทำงาน จัดการพื้นที่กองเก็บวัสดุ และเส้นทางขนส่งวัสดุ

การผสานระหว่างแบบจำลองสภาพพื้นที่และแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างที่นำมาจัดเรียงตามแผนการทำงานของโครงการกรณีศึกษา งานวิจัยนี้สามารถจำลองและวิเคราะห์ถึงกิจกรรมก่อสร้างที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

ต้นแบบเสมือนสามารถระบุอุปสรรคที่กีดขวางการทำงานก่อสร้าง เมื่อทำการกองเก็บวัสดุในพื้นที่เป้าหมายซึ่งมีเนินดินไหล่เขากีดขวางอยู่ แบบจำลองสภาพพื้นที่โครงการสามมิติให้รายละเอียดที่สามารถนำมาวิเคราะห์เป็นค่าใช้จ่ายเพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็น การออกคำสั่งเพื่อดำเนินการขุดรื้อและปรับพื้นที่ หรือเลือกที่จะกองเก็บวัสดุไว้อีกพื้นที่หนึ่งและขนส่งเข้ามาในช่วงเวลาที่ติดตั้งเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพพื้นที่ในส่วนนั้น

ต้นแบบเสมือนแสดงปริมาณชิ้นส่วนวัสดุที่จะนำเข้ามาเก็บไว้ในพื้นที่ และแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติแสดงพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่ งานวิจัยนี้สามารถทราบถึงสภาพการจัดสรรพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะและหลังเกิดกิจกรรมก่อสร้าง

5.5.2 กรณีศึกษาที่ 2: งานติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่

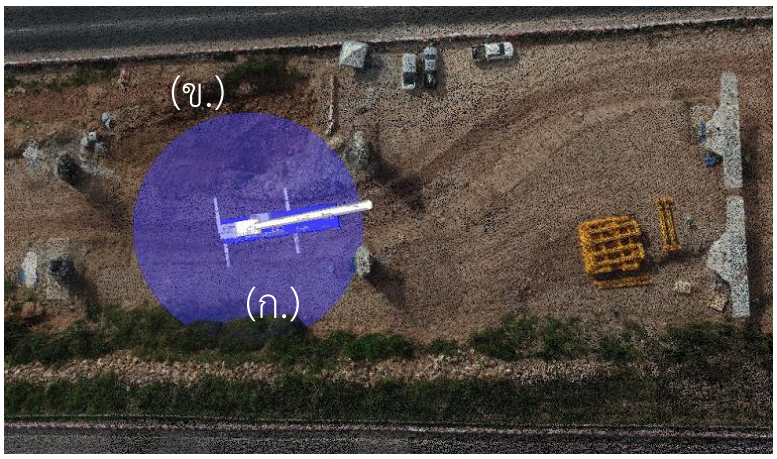
1) พื้นที่ว่างที่เหลือสำหรับทำงาน

ต้นแบบเสมือนแสดงพื้นที่ทำงานที่เหลืออยู่หลังจากงานจัดเรียงชิ้นส่วนสะพาน พื้นที่ว่างดังกล่าวจะต้องรักษาไว้ให้เป็นพื้นที่สำหรับเครื่องจักร ตำแหน่งยืนของเครื่องจักรให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย รูปที่ 5.21 แสดงแบบจำลองรถปั้นจั่นทำงานยก Pier Segment ขึ้นติดตั้งบนเสาสะพาน วงกลมสีฟ้าแสดงของเขตที่แขนของปั้นจั่นสามารถหมุนตัวได้ขณะทำงานซึ่งมีขอบเขตกระทบกับ แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดง ก.)แนวคันดินด้านข้าง ข.)ทางระบายน้ำชั่วคราวซึ่งรถปั้นจั่นไม่สามารถเข้าไปทำงานบริเวณนั้นได้

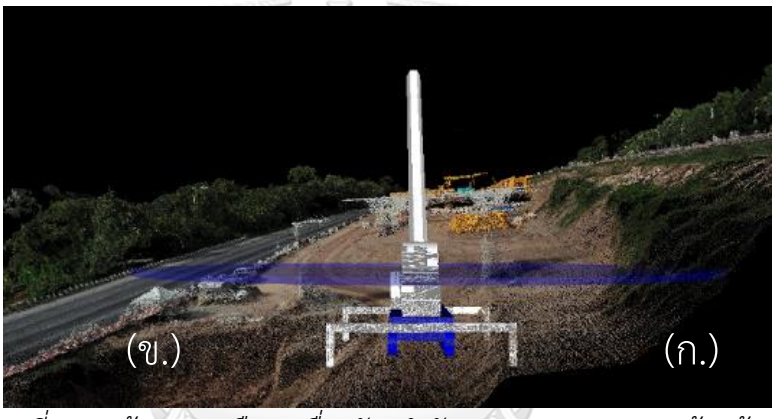
2) เลือกเครื่องจักรสำหรับทำงาน

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรประเภทปั้นจั่นเคลื่อนที่ขนาดต่างๆไว้สำหรับเป็นทางเลือกในการออกแบบวิธีทำงาน ผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกชนิดขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่แสดงมาจากกลุ่มจุดสามมิติและพิกัดยกที่ต้องการ

แบบจำลองเครื่องจักรก่อสร้างที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นจะมีสัญลักษณ์แสดงพื้นที่ทำงานประกอบอยู่ในแบบจำลองด้วย ตัวอย่างแบบจำลองรถปั้นจั่นแสดงวงกลมรัศมีการทำงาน รูปที่ 5.21 ผู้วางแผนงานสามารถเข้าใจถึงพื้นที่ทำงานของเครื่องจักรและรัศมีกระทบกับองค์ประกอบอื่นในพื้นที่ก่อสร้าง รวมไปถึงค่าระดับของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ รูปที่ 5.22 แสดงมุมมองด้านข้างของต้นแบบเสมือน ค่าระดับของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่สามารถระบุได้ด้วยแบบจำลองสภาพพื้นที่ ก.)แนวคันดินด้านล่าง และ ข.)ทางระบายน้ำชั่วคราวซึ่งรถปั้นจั่นไม่สามารถเข้าไปทำงานบริเวณนั้นได้



รูปที่ 5.21 ต้นแบบเสมือนเครื่องจักรกำลังยก Pier Segment (ด้านบน)



รูปที่ 5.22 ต้นแบบเสมือนเครื่องจักรกำลังยก Pier Segment (ด้านข้าง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) สรุปผลกรณีศึกษาที่ 2

ต้นแบบเสมือนกิจกรรมติดตั้งชิ้นส่วนขนาดใหญ่โดยรถปั้นจั่นเคลื่อนที่แสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีการทำงานที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แบบจำลองสภาพพื้นที่ให้รายละเอียดปัจจุบันที่ไม่ปรากฏในแบบก่อสร้าง เช่น แนวคันดินด้านข้าง หรือทางระบายน้ำชั่วคราว ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญที่กีดขวางการทำงาน ซึ่งหากไม่มีการสำรวจพื้นที่ล่วงหน้าก่อนการปฏิบัติงานจริงอาจส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินงานก่อสร้างได้

ต้นแบบเสมือนยังสนับสนุนการทดสอบปรับเปลี่ยนแผนวิธีการทำงาน ชุดแบบจำลองเครื่องจักรที่งานวิจัยพัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกในการออกแบบวิธีการทำงานที่เหมาะสม และเนื่องจากเป็นแบบจำลองพาราเมตริกทำให้การควบคุมแบบจำลองสามารถทำได้จากการ

กำหนดค่าดังกล่าว แผนวิธีทำงานในต้นแบบเสมือนที่ได้จึงสะท้อนสภาพความเป็นจริง เพิ่มมิติได้หลายมุมมอง สามารถสื่อสารให้เกิดความเข้าใจได้ดีกว่าแผนวิธีทำงานทั่วไป

5.5.3 กรณีศึกษาที่ 3: การทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนขนาดใหญ่

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ข้อมูลกลุ่มสามมิติในการสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model) แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขสามารถนำไปผสานกับต้นแบบเสมือนเพื่อการวางแผนกิจกรรมก่อสร้างที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

แบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนบังคับจะนำไปสร้างต้นแบบเสมือนงานขนส่งด้วยการใช้โปรแกรม AutoCAD Civil 3D เพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข พื้นผิวที่สร้างได้จะเป็นตัวแทนสภาพพื้นที่ในเส้นทางขนส่งวัสดุ งานวิจัยนี้ใช้ส่วนเสริม Autodesk Vehicle Tracking สร้างแบบจำลองรถบรรทุกที่นำมาประกอบในการสร้างต้นแบบเสมือน

1) ทดสอบวงเลี้ยว

ในโครงการกรณีศึกษามีการนำรถบรรทุก (Semi-Trailor) ความยาว 25 เมตร มาใช้เพื่อขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

จากการทดลองสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ กลุ่มจุดสามมิติสามารถแสดงข้อมูลเชิงเรขาคณิตตำแหน่งขององค์ประกอบงานจราจรถนนในสภาพปัจจุบัน ซึ่งมีรายละเอียดเพียงพอต่อการออกแบบวงเลี้ยวรถขนาดใหญ่

งานวิจัยนี้ทดสอบวงเลี้ยวของรถบรรทุกกับโปรแกรม Autodesk Civil - Vehicle Tracking โดยโปรแกรมมีการอ้างอิงข้อมูลเชิงเรขาคณิตของรถบรรทุกและวงเลี้ยวเพื่อนำมาสร้างต้นแบบเสมือนจำลองขั้นตอนเลี้ยวได้

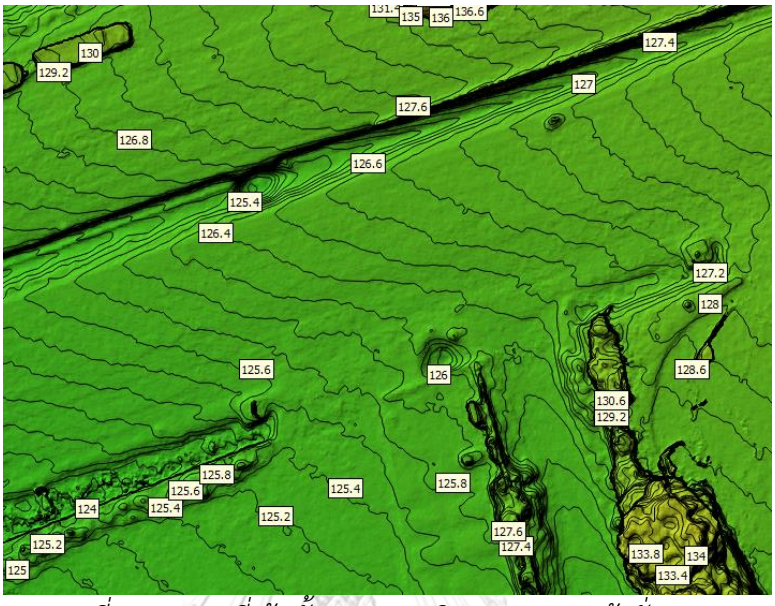
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) สภาพพื้นผิวของถนน

แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขให้รายละเอียดของค่าระดับของพื้นผิวถนน แนวกำแพงของที่ดินข้างเคียง แนวต้นไม้ และร่องทางระบายน้ำ รวมไปถึงสภาพพื้นผิวของถนนที่มีความขรุขระไม่ได้บดอัดตัดเรียบทำให้แบบจำลองสภาพพื้นที่มีความซับซ้อนมาก ต้นแบบเสมือนในกรณีศึกษานี้จึงเป็นการผสานแบบจำลองรถบรรทุกให้สอดคล้องกับแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข

แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขสามารถแสดงในรูปแผนที่เส้นชั้นความสูง นำมาประกอบกับแบบจำลองสภาพพื้นที่กลุ่มจุดสามมิติเพื่อให้ง่ายต่อการสื่อสาร ต้นแบบเสมือนของรถบรรทุกจะเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนมุมมอง ระบุอุปสรรคต่างๆ

และแสดงขั้นตอนการลำเลียงได้ แสดงเส้นชั้นความสูงทุกๆ 20 เซนติเมตร บริเวณทางเข้าจากถนนมิตรภาพ เมื่อพิจารณาร่วมกับ รูปที่ 5.24 ในแบบจำลองสภาพพื้นที่โครงการ แสเงให้เห็นถึงเส้นชั้นความสูงแสดงระดับเกาะกลางถนน ทางระบายน้ำ ต้นไม้ และกำแพงเขตที่ดินข้างเคียง



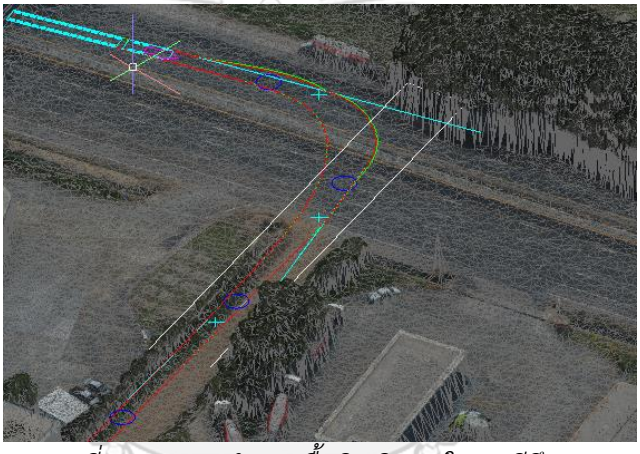
รูปที่ 5.23 แผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณถนนทางเข้าชั่วคราว

รูปที่ 5.24 แผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณถนนทางเข้าชั่วคราว

3) แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model)

การสร้างแผนวิธีการทำงานให้สอดคล้องกับข้อมูลสภาพพื้นที่เป็นจุดประสงค์ของการประยุกต์ใช้ในส่วนนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสร้างต้นแบบเสมือนให้แบบจำลองเครื่องจักรและแบบจำลองสภาพพื้นที่ในรูปกลุ่มจุดสามมิติมีการประสานการทำงานต่อกัน เพื่อทดสอบการวางแผนวิธีการก่อสร้างที่เน้นการใช้ข้อมูลสภาพพื้นที่

กลุ่มจุดสามมิติจะถูกนำมาสร้างแบบเป็นแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขด้วยการเลือกพิกัดตัวแทนมาสร้างเป็นพื้นผิว (Mesh) ด้วยโปรแกรม Autodesk Civil 3D พื้นผิวที่สร้างสามารถแสดงในรูปแผนที่เส้นชั้นความสูง (Contour Line) หรือแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข เพื่อให้การสื่อสารถึงค่าระดับในแบบจำลองมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.25 แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขในกรณีศึกษา

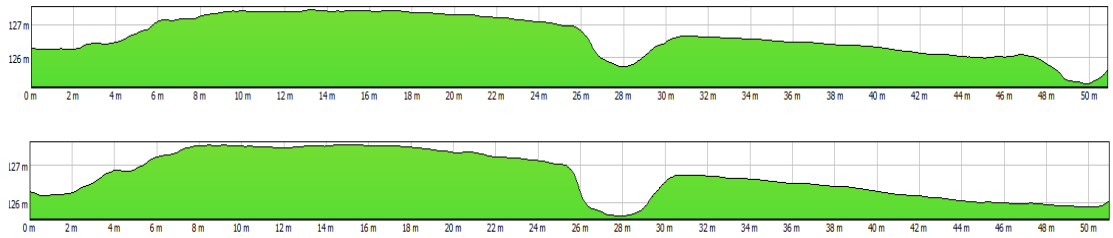
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) การผสานแบบจำลอง

แบบรถบรรทุกของโครงการกรณีศึกษาถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติและนำมาใช้ประกอบในต้นแบบเสมือน งานวิจัยนี้ทดสอบกับโปรแกรม Autodesk Civil 3D – Vehicle Tracking เพื่อออกแบบวงเลี้ยวรถบรรทุก

ในการออกแบบเส้นทางจะกำหนดด้วยภาพมุมสูงให้แบบจำลองเครื่องจักรจะเคลื่อนที่สัมผัสไปบนแบบจำลองพื้นผิว แบบจำลองรถบรรทุกจะได้รับผลกระทบจากสภาพพื้นผิวที่มีความขรุขระซึ่งจะส่งผลในภาพเคลื่อนไหว

รูปที่ 5.26 ต้นแบบเสมือนขั้นตอนการเลี้ยวเข้าถนนชั่วคราว



รูปที่ 5.27 ภาพตัดขวางของถนนหน้าทางเข้า

5) การจำลองสถานการณ์

ต้นแบบเสมือนสามารถปรับเปลี่ยนมุมมองต่างๆได้ตามความต้องการ เช่น แบบภาพมุมสูงเพื่อวิเคราะห์วงเลี้ยวและการแสดงมิติขนาดพื้นที่ แบบภาพด้านข้างเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ว่างด้านข้าง หรือภาพมุมมองคนขับรถ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.28 ภาพมุมมองคนขับรถ

6) การปรับเปลี่ยนแผนงาน

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบวงเลี้ยวในงานก่อสร้าง ต้นแบบเสมือนสามารถเปลี่ยนวิธีการทำงานได้หลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้ทดลองเปลี่ยนชนิดของรถบรรทุกและขนาดวงเลี้ยวที่ใช้ ในแต่ละช่องจราจรเพื่อทดสอบหาข้อจัดกัดในการทำงาน

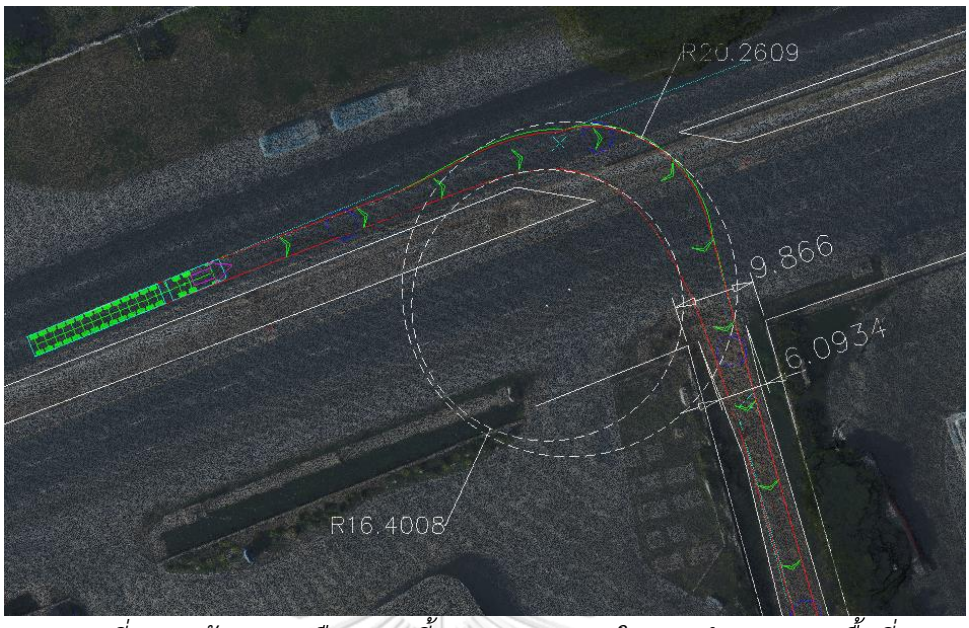
รูปที่ 5.29 ต้นแบบเสมือนการเลี้ยวรถเข้าโค้งหักศอก

ต้นแบบเสมือนเส้นทางขนส่งวัสดุในกรณีศึกษาที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนในถนนชั่วคราวก่อนมีการปรับพื้นที่ รูปที่ 5.29 แสดงให้เห็นถึงวงเลี้ยวที่ไม่เพียงพอในขณะที่ทำการเลี้ยว 90 องศา ผู้วางแผนสามารถใช้ต้นแบบเสมือนนี้ในการพิจารณาปรับสภาพพื้นที่หรือปรับเปลี่ยนเส้นทางขนส่งได้

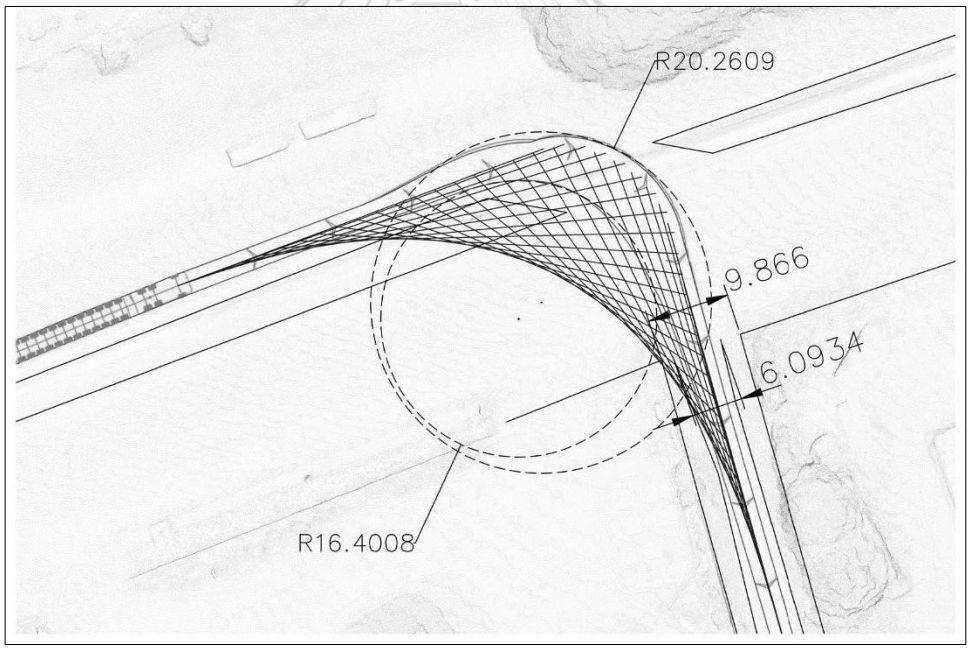
7) การแสดงผลการออกแบบวิธีทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต้นแบบเสมือนที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ในการออกแบบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานได้แสดงผลในรูปของภาพเคลื่อนไหวที่สามารถปรับเปลี่ยนมุมมองได้ดังที่นำเสนอมาในข้างต้น ระบบสามารถสร้างแบบวิธีเลี้ยวของรถบรรทุกจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 5.30 และรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.30 ต้นแบบเสมือนการเลี้ยวของรถบรรทุกในแบบจำลองสภาพพื้นที่



รูปที่ 5.31 แบบวงเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนจากข้อมูลแบบจำลองสภาพพื้นที่

8) สรุปผลกรณีศึกษาที่ 3

ต้นแบบเสมือนที่ใช้ทดสอบวงเลี้ยวรถบรรทุกเป็นการจำลองกระบวนการทำงานที่มีความซับซ้อนสูง ในการออกแบบวงเลี้ยวมีปัจจัยควบคุมจากสภาพแวดล้อมซึ่งถูกแปลงเป็นแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข และแบบจำลองรถบรรทุกแบบพาราเมตริก ทำให้การออกแบบวงเลี้ยวสะท้อนกับสภาพความเป็นจริงของพื้นที่และชนิดของเครื่องจักร

5.5.4 อภิปรายผลลัพธ์

ในกรณีศึกษาที่ 1 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้างในรูปกลุ่มจุดสามมิติสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนจัดการพื้นที่ก่อสร้าง แบบจำลองพื้นที่ให้ข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ระบุอุปสรรคที่กีดขวางการทำงาน รายละเอียดของวัตถุองค์ประกอบในพื้นที่ และเชิงปริมาณ เช่น จำนวน ระยะ และพื้นที่

ในกรณีศึกษาที่ 2 ทดสอบการวางแผนงานรถปั้นจั่นเคลื่อนที่ในกิจกรรมยกชิ้นส่วนติดตั้ง กิจกรรมนี้มีเครื่องจักรขนาดใหญ่ต้องการพื้นที่ทำงานมาก ต้นแบบเสมือนของรถปั้นจั่นแสดงพื้นที่สำหรับงานยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน ขอบเขตการทำงานของเครื่องจักรทำให้เข้าใจถึงสภาพพื้นที่เมื่อเกิดกิจกรรมก่อสร้างและออกแบบปรับแผนการทำงานให้เหมาะสม ชุดแบบจำลองเครื่องจักรสามารถปรับเปลี่ยนแผนวิธีการทำงานให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ

ในกรณีศึกษาที่ 3 นำเสนอการใช้กลุ่มสามมิติมาสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขซึ่งสามารถนำไปใช้อ้างอิงสภาพพื้นผิวและนำไปออกแบบวิธีการทำงานของเครื่องจักรที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แบบจำลองสภาพพื้นที่มีความสามารถในการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในการออกแบบวิธีการทำงานที่ความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แบบจำลองรถบรรทุกเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของแบบจำลอง ซึ่งแผนวิธีการทำงานให้ผลลัพธ์สะท้อนกับสภาพพื้นที่ที่แท้จริง ต้นแบบเสมือนนี้แสดงแบบจำลองเครื่องจักรให้ทำงานสอดคล้องไปกับแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขซึ่งรายงานผลในแบบสองมิติหรือภาพเคลื่อนไหว

5.6 สรุปผลการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติกับการวางแผนวิธีทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในบทนี้งานวิจัยนำเสนอขั้นตอนการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติกับการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

เพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นและทดสอบระบบสนับสนุนในการสร้างแบบจำลองงานวิจัยนี้สร้างต้นแบบเสมือนจำลองกิจกรรมก่อสร้าง 3 กิจกรรม ประกอบไปด้วยการวางแผนพื้นที่กองเก็บชิ้นส่วน งานติดตั้งชิ้นส่วน และกิจกรรมขนส่งชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่ด้วยรถบรรทุก โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากวิศวกรผู้บริหารโครงการ เอกสารแบบก่อสร้าง และการลงพื้นที่หน้างาน

ผลจากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติกับการวางแผนวิธีทำงานผู้บริหารโครงการสามารถนำผลลัพธ์ที่แสดงในต้นแบบเสมือนจากทั้งสองกรณีศึกษาไปปรับแผน

วิธีการทำงานหรือดำเนินการปรับสภาพพื้นที่ก่อสร้างได้ และทดสอบผลจากการปรับเปลี่ยนเหล่านั้นได้ทันทีด้วยการใช้ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

แบบจำลองสภาพพื้นที่ของโครงการก่อสร้างที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศให้ประโยชน์ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในหลายมิติ ต้นแบบเสมือนที่ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่มีความสมจริง (Reality) มากกว่าการสร้างแบบจำลองโดยข้อมูลงานสำรวจภาคพื้นดินทั่วไป ต้นแบบเสมือนแสดงมิติของการวางแผนกิจกรรมก่อสร้างจากทั้ง 3 กรณีศึกษา ช่วยเพิ่มความสามารถในการแสดงผลและการเข้าถึง (Visualization) ข้อมูลสภาพพื้นที่และแผนวิธีทำงานที่สะท้อนสภาพความเป็นจริงมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยกล้องสำรวจสถานีรวมหรือเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ หากไม่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายแล้วการประมวลภาพถ่ายทางอากาศสามารถสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ได้รวดเร็วกว่าสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่และมีระยะทางมาก ข้อมูลที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ได้ในเวลาอันสั้นและนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนวิธีทำงานในพื้นที่ก่อสร้างได้อย่างทันท่วงที

ส่วนของระบบอากาศยานไร้คนบังที่ใช้สร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่เป็นโปรแกรมอัตโนมัติให้เก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยตนเอง กระบวนการนี้จึงใช้แรงงานคนน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีการสำรวจภาคพื้นดินทั่วไป ดังนั้นการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่สามารถดำเนินการซ้ำได้โดยใช้เวลาไม่นาน นอกเหนือไปจากความสามารถในการติดตามสภาพพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาแล้ว แบบจำลองที่ได้เป็นปัจจุบันให้ประโยชน์ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างล่วงหน้าหรือใช้ปรับเปลี่ยนแผนวิธีการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่ประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในรูปของกลุ่มจุดสามมิติซึ่งได้มาจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนบังคับ

ผลลัพธ์จากการใช้ระบบคือต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงานก่อสร้างซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานในรูปแบบจำลองสามมิติ โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานและโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบสามารถวางแผนการทำงานได้แบบอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ทดสอบความคลาดเคลื่อนแบบจำลองสภาพพื้นที่ของกรณีศึกษาที่ 4 เพื่อศึกษาวิธีควบคุมความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสภาพพื้นที่ไปใช้วางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าแบบจำลองสภาพพื้นที่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางปฏิบัติเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสภาพพื้นที่ต่อไป

บทนี้นำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างกับเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนในกิจกรรมยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน โปรแกรมที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างต้นแบบเสมือนและควบคุมแบบจำลองเครื่องจักรให้ทำงานบนแบบจำลองสภาพพื้นที่โดยอัตโนมัติ ต้นแบบเสมือนที่ได้จากระบบแสดงในรูปภาพเคลื่อนไหวและแบบจำลองสารสนเทศซึ่งสามารถนำไปใช้สื่อสารในขั้นตอนการวางเพื่อเลือกวิธีทำงานก่อสร้างที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.1 หลักการของการพัฒนาระบบ

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบโดยอาศัยตัวอย่างการแก้ปัญหาในงานก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างถนนและทางยกระดับซึ่งงานวิจัยมีหลักการของการพัฒนาระบบดังนี้

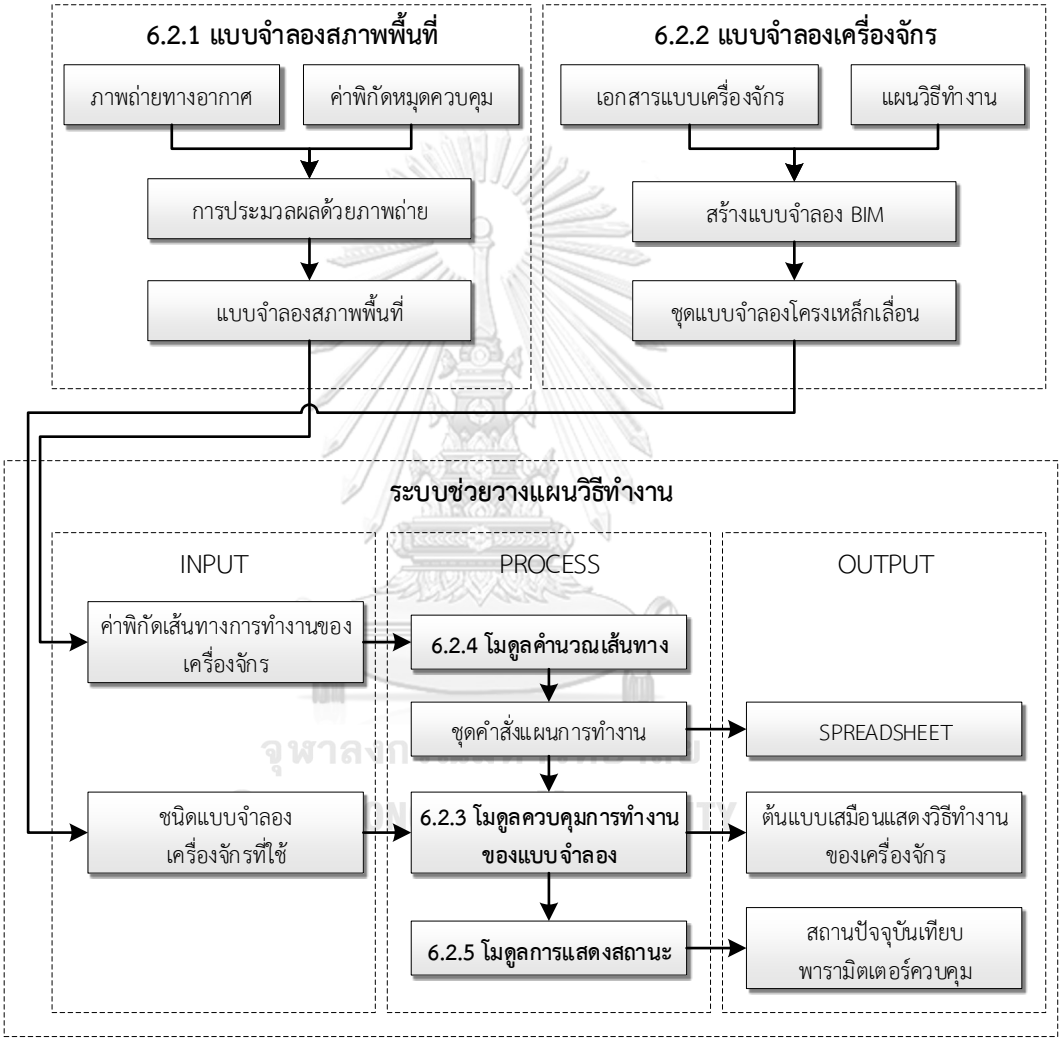
1) ใช้อากาศยานไร้คนบังคับในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมพื้นที่ก่อสร้าง

2) ใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่สังเคราะห์ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง และสร้างแผนการทำงานด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

3) นำเสนอแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยต้นแบบเสมือนและใช้แบบจำลองสามมิติเพื่อสื่อสารให้เกิดความเข้าใจ

งานวิจัยนี้เลือกกิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษาที่ 4 เป็นตัวอย่างในการออกแบบและพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงาน

6.2 โครงสร้างของระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง

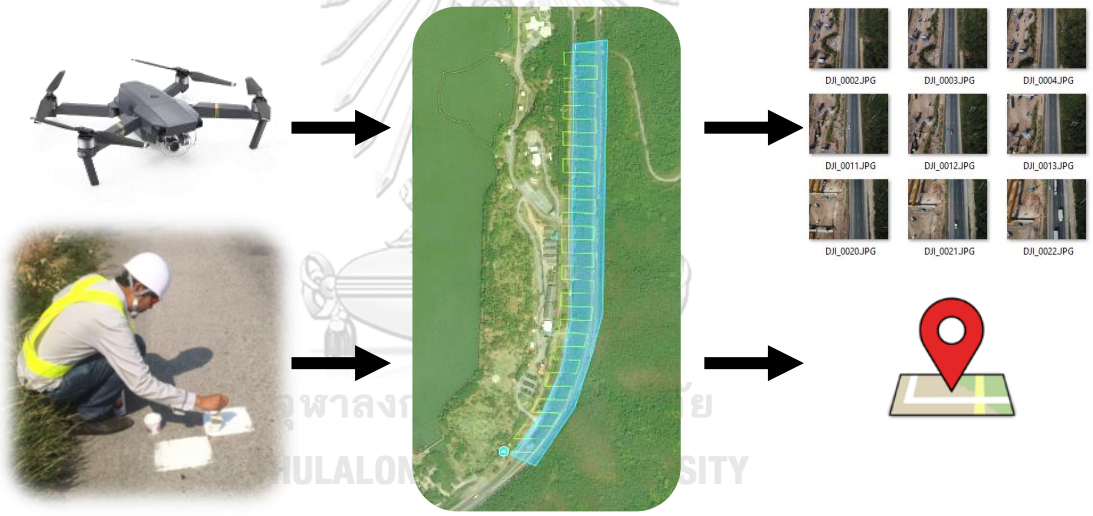
6.2.1 แบบจำลองสภาพพื้นที่

ส่วนแบบจำลองสภาพพื้นที่ของระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างมีการแบ่งออกเป็นสองกระบวนการคือ กระบวนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และกระบวนการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่

1) กระบวนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

แบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้างได้มาจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนบังคับซึ่งมีขั้นตอนวิธีการเก็บข้อมูลด้วยการปฏิบัติเดียวกับการทดสอบในบทที่ 4 คือใช้โปรแกรมควบคุมอากาศยานไร้คนบังคับให้เก็บภาพถ่ายทางอากาศจำนวน 3 ทิศทางการบิน ที่มุมกล้อง 70 องศาจากแนวราบ เลือกระดับเพดานบินที่ปลอดภัยเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมพื้นที่ก่อสร้าง

ระบบจำเป็นต้องมีการสร้างงหมุดควบคุมและสำรวจค่าพิกัดและค่าระดับเพื่อการปรับแก้แบบจำลองในกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย รูปที่ 6.2 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่เริ่มต้นจากการสร้างสร้างหมุดควบคุมและการวางแผนวิธีการบินของอากศยานไร้คนบังคับ เมื่อทำการบินสำรวจพื้นที่แล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคือชุดภาพถ่ายของพื้นที่ก่อสร้างและค่าพิกัดและค่าระดับที่ถ่ายภาพ



รูปที่ 6.2 กระบวนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

2) กระบวนการสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่

ชุดภาพถ่ายทางอากาศ ตำแหน่งภาพถ่าย และหมุดควบคุม มีความสำคัญต่อกระบวนการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Agisoft PhotoScan 1.3.3 ระบบค่าพิกัดทั้งหมดในงานวิจัยนี้อ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์รูปแบบ WGS84/UTM 47N ซึ่งเป็นรูปแบบพิกัดที่ใช้ในประเทศไทย

แบบจำลองสภาพพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติหรือแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขที่ได้จากกระบวนการจะนำไปใช้ประโยชน์ในระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างต่อไป

6.2.2 องค์ประกอบนอกเขตพื้นที่ก่อสร้าง

ในงานขนส่งวัสดุขนาดใหญ่ผ่านพื้นที่สาธารณะต้องมีการสำรวจเพื่อทำแบบขออนุญาต จากการสำรวจพื้นที่ทำให้พบสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่ก่อนและเป็นอุปสรรคในการทำงาน เช่น ทางเท้า แนวเสาไฟฟ้า โครงสร้างร่องระบายน้ำ แผงกันและเกาะกลางถนน

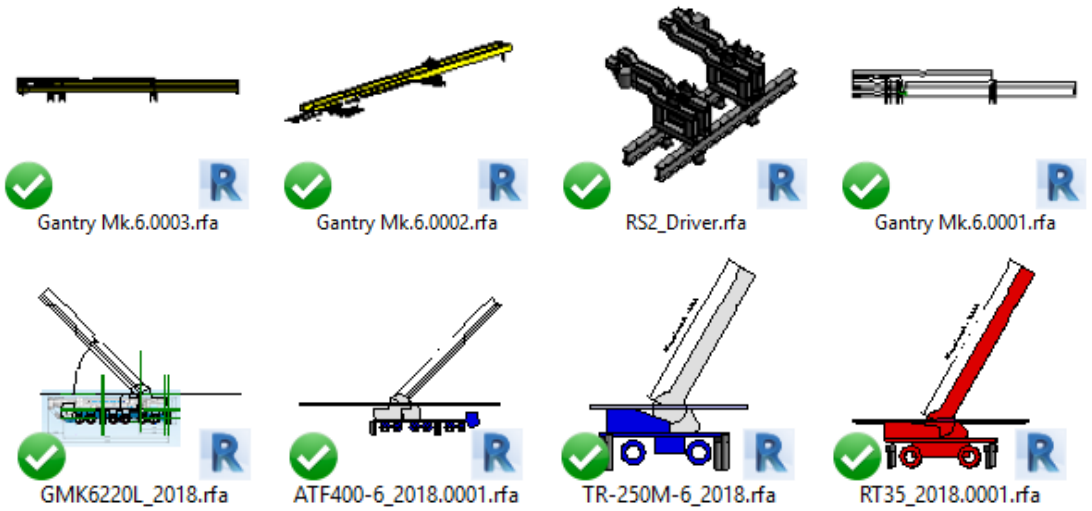
งานปรับพื้นที่ชั่วคราวเพื่อให้สามารถทำงานได้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องได้รับการวางแผนและขออนุญาตเจ้าพนักงานประจำเขตนั้นๆ โดยการแนบเอกสารแบบแปลนพื้นที่และรายละเอียดกิจกรรมก่อสร้างที่ทำเสนอต่อเจ้าพนักงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขออนุญาตดำเนินการรื้อถอน เคลื่อนย้าย หรือปรับปรุงพื้นที่ ให้สามารถทำงานได้

6.2.3 แบบจำลอง BIM

ภายในระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรและชิ้นส่วนโครงสร้างบนพื้นฐานของโปรแกรม Autodesk Revit บนพื้นฐานของแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศซึ่งพัฒนาให้เป็นพาราเมตริกโมเดล (Parametric Model) ที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบเครื่องจักรและแบบโครงสร้างได้ตามค่าพารามิเตอร์ที่ใส่ไปในแบบจำลอง

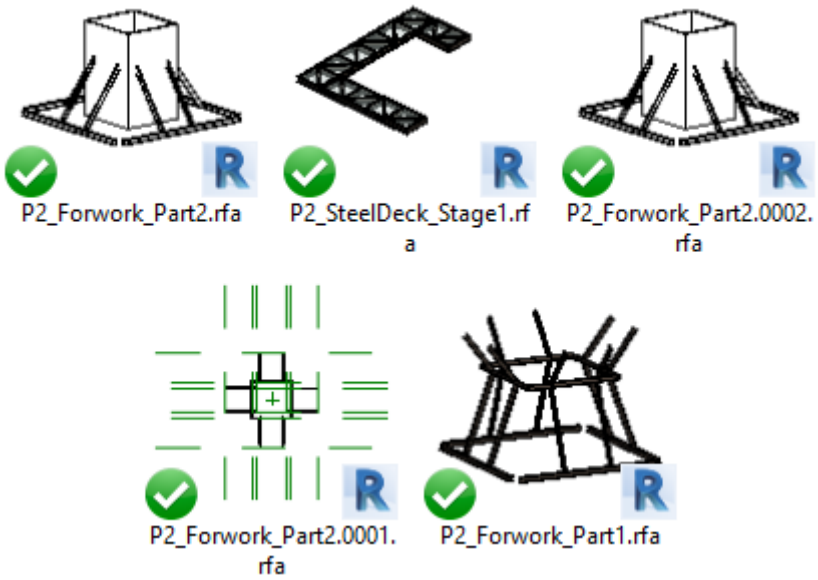
แบบจำลองเครื่องจักรและชิ้นส่วนโครงสร้างในงานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากเครื่องจักรในกรณีศึกษา ซึ่งหากเมื่อมีความประสงค์ต้องการเปลี่ยนชนิดของเครื่องจักรจะทำให้รูปแบบการควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ต้องมีการแก้ไขส่วนโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบกับกรณีศึกษาตัวอย่างเท่านั้น

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะอยู่ในรูปไฟล์นามสกุล .RFA โดยแบ่งหมวดหมู่ออกเป็น แบบจำลองเครื่องจักรรูปที่ 6.3 แบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างรูปที่ 6.4 และแบบจำลองโครงสร้างงานชั่วคราวรูปที่ 6.5 แบบจำลองเหล่านี้จะถูกอัพโหลดไว้ในฐานข้อมูลออนไลน์ของระบบเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายเมื่อมีการวางแผนวิธีทำงาน การแก้ไขแบบก่อสร้าง หรือการเปลี่ยนชนิดเครื่องจักร



รูปที่ 6.3 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองเครื่องจักร

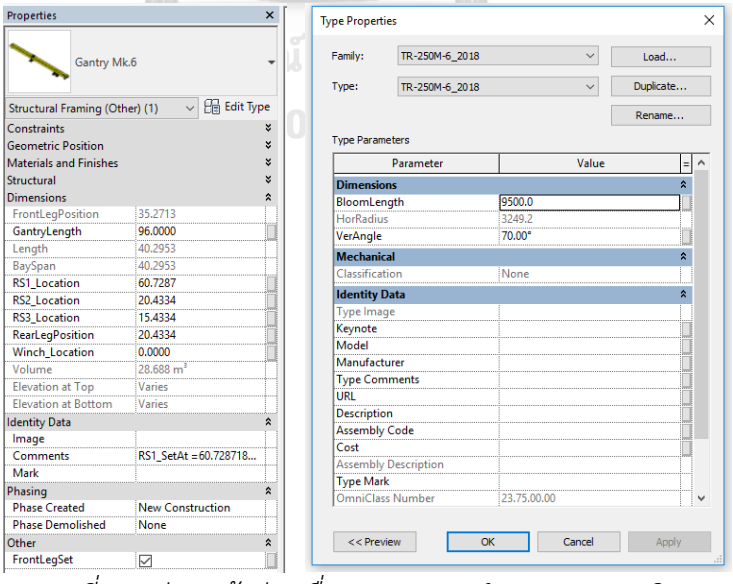
รูปที่ 6.4 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้าง



รูปที่ 6.5 ตัวอย่างฐานข้อมูลแบบจำลองโครงสร้างงานชั่วคราว

6.2.4 โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ Dynamo Studio ในการควบคุมแบบจำลองพาราเมตริกบนโปรแกรม Autodesk Revit งานวิจัยนี้มีหลักการควบคุมแบบจำลองเครื่องจักรโดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ภายในแบบจำลองเพื่อแสดงการทำงานและการเคลื่อนไหว



รูปที่ 6.6 ส่วนหน้าต่างเพื่อควบคุมแบบจำลองพาราเมตริก

รูปแบบของการควบคุมการทำงานชองแบบจำลองเครื่องจักรจะอ้างอิงจากวิธีการทำงานของเครื่องจักรจริงที่งานวิจัยนี้ทำงานลงพื้นที่ศึกษาและเอกสารประกอบงานก่อสร้าง ลักษณะการควบคุมแบบจำลองพาราเมตริกโมเดลมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองกระบวนการทำงานของเครื่องจักรขณะทำงานก่อสร้าง ในขั้นแรกโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองจะเป็นการควบคุมค่าพาราเมตริกด้วยตัวผู้ใช้เองโดยตรงเท่านั้น และต่อมาจึงมีการพัฒนาส่วนโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานเพื่อส่งคำสั่งอัตโนมัติทดแทนการคำนวณโดยผู้ใช้งานระบบ

6.2.5 โมดูลคำนวณเส้นทาง

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวอย่างการสังเคราะห์ข้อมูลออกจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ งานวิจัยนี้ใช้ตำแหน่งค่าพิกัดและค่าระดับปลายเสาโครงสร้างสะพานจากกลุ่มจุดสามมิติมาใช้กำหนดเส้นทางการก่อสร้างในกรณีศึกษาที่ 4

งานวิจัยนี้นำเสนอการคำนวณเวกเตอร์เพื่อหาเส้นทางและจำลองพฤติกรรมการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างโดยอ้างอิงวิธีการทำงานมาจากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุม ผู้ออกแบบเครื่องจักร และการลงพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยตนเอง

6.2.6 โมดูลการแสดงสถานะ

งานวิจัยนี้ศึกษาค่าจำกัดการทำงานของเครื่องจักรจากการสัมภาษณ์ผู้ออกแบบและผู้ควบคุม ผู้วางแผนและผู้ควบคุมงานควรให้ความสำคัญกับค่าจำกัดการทำงานนี้ในการควบคุมความปลอดภัยของการปฏิบัติงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการวางแผนและปฏิบัติงาน

ผลจากการคำนวณเวกเตอร์ในโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานคือสถานะของเครื่องจักรที่เวลาใดๆระหว่างการทำงานในต้นแบบเสมือน ซึ่งข้อมูลสถานะเหล่านี้จะนำไปวิเคราะห์โดยผู้ออกแบบและผู้ควบคุมเครื่องจักรเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนวิธีการทำงาน

6.2.7 ผลลัพธ์ที่คาดหวัง

งานวิจัยนี้ทดสอบระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานโครงเหล็กเลื่อนกับกรณีศึกษา และนำเสนอผลลัพธ์เป็นแผนภาพสามมิติและภาพเคลื่อนไหวแสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปต่อผู้ควบคุมเครื่องจักรและวิศวกรผู้จัดการโครงการ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือ แผนภาพแสดงวิธีการทำงานของโครงเหล็กเลื่อนจำนวน 2 ชุดให้ทำงานพร้อมกันได้ในแบบจำลองสภาพพื้นที่ แสดงขั้นตอนการเข้าโค้งถนน และมีส่วนรายงานสภาพปัจจุบันของเครื่องจักรในขณะที่ทำงาน

6.3 กรณีศึกษาที่ 4: การทำงานของโครงเหล็กเลื่อน

6.3.1 การติดตั้งคานสะพานด้วยโครงเหล็กเลื่อน

งานโครงสร้างสะพานทางยกระดับปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคการก่อสร้างกับชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่หล่อจากโรงงาน ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้างไปได้เมื่อเทียบกับวิธีแบบตั้งนั่งร้านและหล่อคอนกรีตในที่ เครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนทำหน้าที่ยกชิ้นส่วนจึงเข้ามามีบทบาทกับงานก่อสร้างประเภทนี้

การก่อสร้างสะพานด้วยวิธีแบบก่อสร้างทีละช่วง (Span-by-Span) โดยที่โครงสร้างส่วนบน (Super Structure) ใช้รูปแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องแบ่งเป็นหลายชิ้นใน 1 Span (Segmental Box Girder) ซึ่งโครงสร้างนี้เป็นคอนกรีตอัดแรงระบบดึงเหล็กภายหลัง (Prestressed Concrete Posttension) เครื่องจักรทำการยกคานสะพานขึ้นทีละชิ้นและเลื่อนมาประกอบให้เต็ม Span แล้วทำการ Stressing ในแต่ละ Tendon

โครงเหล็กเลื่อน (Launching Gantry) จึงเป็นเครื่องจักรสำคัญสำหรับงานยกชิ้นส่วนขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้นที่สูง การทำงานจึงต้องมีผู้ควบคุมที่มีประสบการณ์และความรู้เฉพาะทางและมีแผนวิธีทำงานเพื่อให้การทำงานที่ปลอดภัย

6.3.2 ศึกษาเอกสารแผนวิธีทำงาน

จากการศึกษาเอกสารแผนวิธีทำงานก่อนสร้างของโครงงานก่อสร้างกรณีศึกษานี้ งานวิจัยนี้พบว่าผู้ออกแบบมีการแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 16 ขั้นตอน โดยแสดงอยู่ในหน้ากระดาษที่มีภาพประกอบการทำงานและข้อความอธิบายการทำงาน

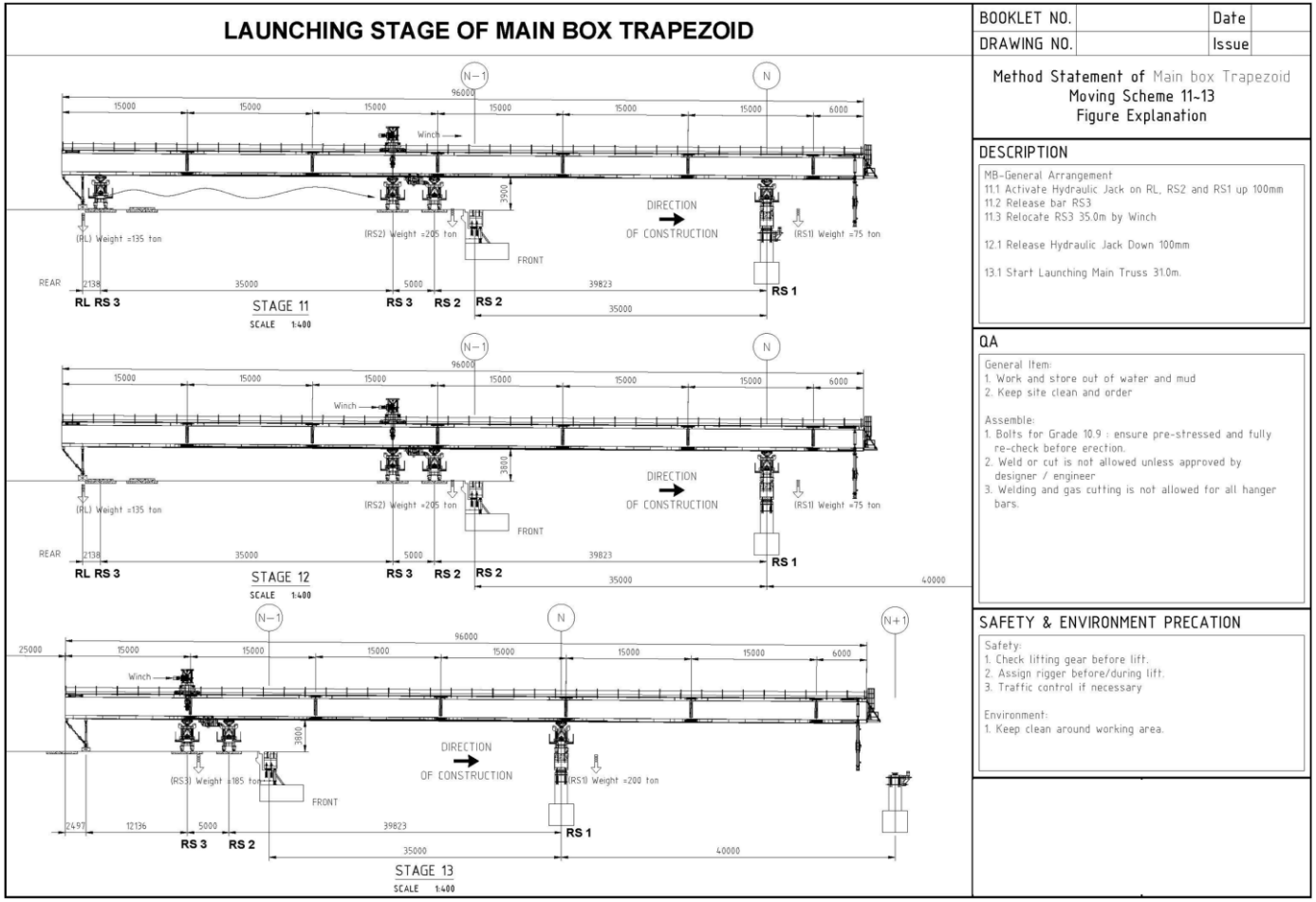
เอกสารแผนวิธีทำงานการเคลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไปแสดงข้อมูลประกอบวิธีทำงานดังนี้

1) แบบภาพแสดงแต่ละกระบวนการทำงาน 16 ขั้นตอน

2) รายละเอียด คำบรรยายกระบวนการทำงาน

3) รายการเพื่อควบคุมคุณภาพเครื่องจักรและการทำงาน

4) ข้อกำหนดความปลอดภัยในพื้นที่ทำงาน



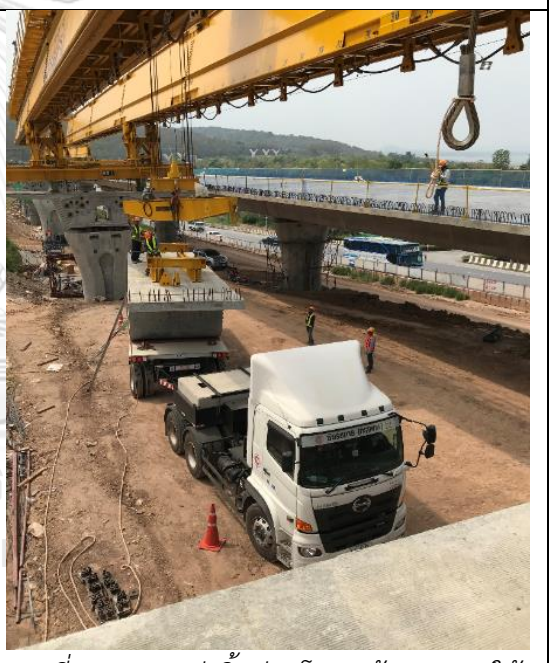
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างเอกสารแผนวิธีเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนในกรณีศึกษา

ผลจากการศึกษาเอกสารแผนวิธีทำงานพบว่า รายการประกอบการทำงานเป็นแบบภาพสองมิติ ในคำบรรยายกระบวนการทำงานแสดงตัวเลขระยะเบื้องต้นเท่านั้น แผนภาพไม่แสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปให้ชัดเจน และไม่มีการแสดงขั้นตอนการเลี้ยวเข้าโค้งถนนซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในแบบสามมิติ

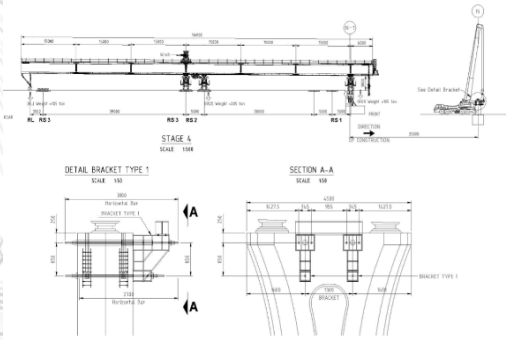
6.3.3 ที่มาของปัญหาการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์วิศวกรผู้ออกแบบเครื่องจักรและกลุ่มผู้ควบคุมเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อน งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีปฏิบัติงาน ศึกษาเอกสารแสดงวิธีทำงานที่ได้รับจากผู้ออกแบบ งานวิจัยนี้ได้สรุปรายละเอียดของกิจกรรมก่อสร้างในกรณีศึกษาที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 6.1 รายการองค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษาที่ 4

องค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้าง	**ภาพประกอบ**
1.กิจกรรมยกชิ้นส่วนติดตั้งโครงสร้างคานสะพานถูกออกแบบให้เป็นคานต่อเนื่อง 7 ช่วง และมีขนาดหน้าตัดเท่ากัน โครงเหล็กเลื่อนยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานความยาวรวมช่วงละ 40 เมตร **กรณีศึกษา:** ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีหมายเลยประจำตัวเฉพาะ ลำดับขั้นตอนเหมือนกันทุกๆช่วงสะพาน โดยลำเลียงชิ้นส่วนด้วยรถบรรทุกจากจุดกองเก็บวัสดุมาให้โครงเหล็กเลื่อนในขั้นตอนการยกติดตั้ง	 *รูปที่ 6.8 รถขนส่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานให้โครงเหล็กเลื่อนยกติดตั้ง*

CHULALONGKORN UNIVERSITY

องค์ประกอบภายในพื้นที่ก่อสร้าง	ภาพประกอบ
2.การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป การเคลื่อนที่ของโครงเหล็กเลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไปถือเป็นกิจกรรมที่อันตรายที่สุดที่เกี่ยวกับโครงเหล็กเลื่อน ดังนั้นจึงควรมีแผนแสดงวิธีการทำงานที่ชัดเจน มีผู้ควบคุมการทำงานที่มีความรู้และประสบการณ์ **กรณีศึกษา:** แผนวิธีทำงานที่ผู้ออกแบบเสนอแก่ผู้ว่าจ้างมีลักษณะเป็นแบบแผนภาพสองมิติแสดงรูปด้าน พร้อมข้อความอธิบายประกอบ มีลักษณะเป็นแผนทั่วไป (Typical Plan)	 *รูปที่ 6.9 โครงเหล็กเลื่อนขณะกำลังเคลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไป*
3.แผนภาพแสดงวิธีการทำงาน แผนงานที่ผู้ออกแบบเครื่องจักรมอบให้โครงการใช้เป็นแผนมาตรฐานอ้างอิงวิธีทำงานก่อสร้าง และใช้สื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน **กรณีศึกษา:** งานวิจัยนี้พบว่าแผนวิธีทำงานทั่วไปดังกล่าวยังไม่สะท้อนถึงสภาพปัจจุบันของพื้นที่ทำงานจริงได้ รายละเอียดของแบบแสดงในรูปแบบสองมิติเท่านั้น ไม่แสดงรายละเอียดของสิ่งแวดล้อมอื่นๆภายในพื้นที่โครงการ	 *รูปที่ 6.10 แบบรายละเอียดโครงเหล็กเลื่อน*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.4 ขั้นตอนการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีการทำงานก่อสร้าง

6.4.1 การสังเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่

ค่าพิกัดและค่าระดับของหัวเสาโครงสร้างสะพานได้รับการวัดควบคุมค่าพิกัดและค่าระดับโดยฝ่ายสำรวจในขั้นตอนติดตั้งแบบหล่อและหลังเทคอนกรีตเพื่อจัดทำ As-Built Drawing และรายงานประกอบงานสำรวจ ผู้วางแผนจะนำข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับใน As-Built ไปใช้วางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนต่อไป

ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างมีแนวคิดที่จะใช้ข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับของหัวเสาโครงสร้างสะพานจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ ระบบมีขั้นตอนการสังเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) วิเคราะห์แบบจำลองสภาพพื้นที่เพื่อระบุองค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างและระบุอุปสรรคสิ่งกีดขวาง (ตัวอย่างรูปที่ 6.11 แสดงให้เห็นถึงบันไดนั่งร้านและกองเก็บชิ้นส่วนสะพาน)

2) ปรับมุมมองแบบจำลองสภาพพื้นที่เป็นภาพแปลนพื้นที่ก่อสร้างเพื่อระบุตำแหน่งของเสาสะพานและให้มุมมองภาพรวมของพื้นที่โครงการ

3) Mark จุดตำแหน่งจุดอ้างอิงเสาโครงสร้างเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อน รูปที่ 6.12

4) สังเคราะห์ข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับตำแหน่งเสาโครงสร้างเก็บไว้ในฐานข้อมูลของระบบในรูปชุดข้อมูล E, N, Z ตามระบบค่าพิกัดและค่าระดับอ้างอิงของโครงการก่อสร้างกรณีศึกษา ตารางที่ 6.2

รูปที่ 6.11 แบบจำลองเสาโครงสร้างสะพาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6.12 ตำแหน่งอ้างอิงเสาโครงสร้างสะพาน

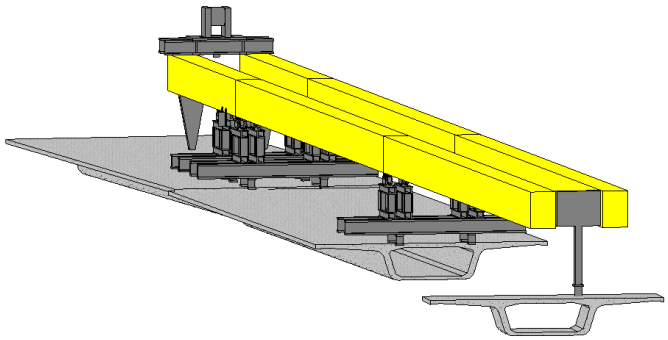
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับที่สังเคราะห์ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่

ชื่อเสา	พิกัด X	พิกัด Y	พิกัด Z
V2-006R	773489.243	1639096.639	301.795
V2-007R	773501.923	1639134.207	298.717
V2-008R	773514.537	1639166.547	298.068
V2-009R	773528.328	1639198.493	297.406
V2-010R	773545.006	1639234.714	296.656

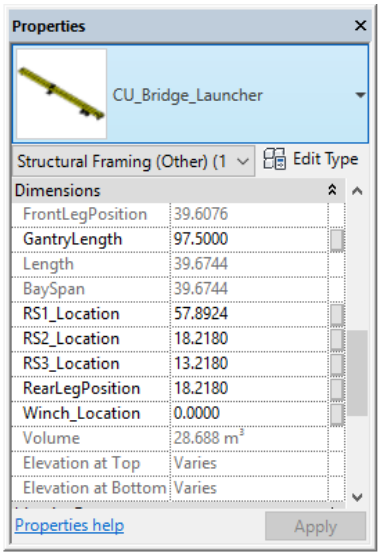
6.4.2 การสร้างแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อน

เพื่อการสร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีการทำงานของโครงเหล็กเลื่อนงานวิจัยนี้ได้เลือกพัฒนาแบบจำลองสามมิติที่เป็นพาราเมตริกในชุดโปรแกรม Autodesk Revit โดยแบบจำลองที่ได้เป็นแบบจำลองสารสนเทศที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย

การสร้างแบบจำลองเครื่องจักรเพื่อจำลองวิธีการทำงาน โดยงานวิจัยนี้ได้ลงเก็บข้อมูลการทำงานด้วยต้นเองและนำมาสร้างแบบจำลอง โดยอ้างอิงวิธีการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนสำคัญที่ทำงานของเครื่องจักร การขยับชิ้นส่วนถูกกำหนดโดยการใส่พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ลงไปในแบบจำลอง แบบจำลองจะตอบสนองต่อคำสั่งเหล่านั้นและแสดงผลออกมาเป็นภาพสามมิติ



รูปที่ 6.13 แบบจำลองสามมิติโครงเหล็กเลื่อน



รูปที่ 6.14 หน้าต่างควบคุมพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

ในขั้นแรกของการสร้างแบบจำลอง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเอกสารแผนวิธีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป 16 ขั้นตอนจากโครงการกรณีศึกษา นำมาสร้างแผนวิธีการทำงานสำหรับโครงเหล็กเลื่อนในรูป 14 ชุดคำสั่ง มีพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองคือตำแหน่ง RS1 RS2 RS3 Winch และระยะที่ดันโครงเหล็กไปข้างหน้า

ผลจากการสร้างแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนแสดงใน รูปที่ 6.13 ซึ่งเป็นพาราเมตริกโมเดลที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ควบคุมได้ด้วยการกรอกคำสั่งในหน้าต่างควบคุมใน รูปที่ 6.14 ซึ่งแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนจะปรับตำแหน่ง RS1 RS2 RS3 Winch และระยะที่ดันโครงเหล็กไปข้างหน้าตามค่าพารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไป

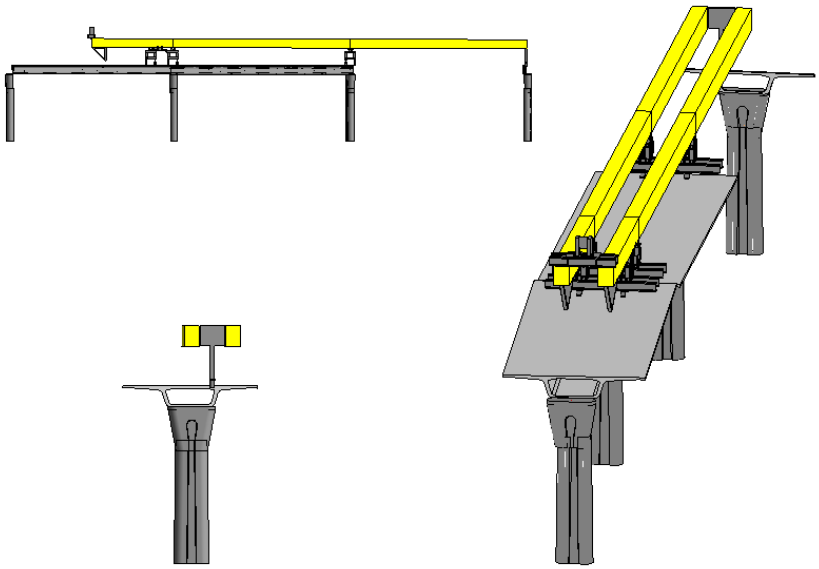
งานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ออกเป็น 14 ชุดตามตารางที่ 6.3 เพื่อใช้ควบคุมแบบจำลองเครื่องจักรทำงานในแต่ละขั้นตอนที่อ้างอิงมาจากเอกสารแผนวิธีทำงานที่ และทดสอบกับแบบจำลองเพื่อแก้ไขโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองให้ทำงานได้ถูกต้อง

ตารางที่ 6.3 ชุดคำสั่งให้แบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนทำงาน (หน่วย: เมตร)

ขั้นตอน	ตำแหน่ง RS3	ตำแหน่ง RS2	ตำแหน่ง RS1	ตำแหน่ง Winch	ดันไปข้างหน้า
1	10	15	55	45	0
2	10	15	55	50	0
3	10	50	55	55	0
4	10	50	95	60	0
5	10	50	95	45	0
6	15	50	95	50	0
7	15	50	95	55	0
8	3	38	83	60	12
9	3	38	83	45	12
10	27	38	83	50	12
11	27	43	83	45	12
12	38	43	83	50	12
13	14	19	59	55	36
14	14	19	59	60	36

ประโยชน์ของการพัฒนาแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนด้วยโปรแกรม Autodesk Revit คือ แบบจำลองพาราเมตริกของตัวเครื่องจักรสามารถทำงานร่วมกับแบบจำลองโครงสร้างสะพาน ต้นแบบเสมือนนี้สามารถแสดงรายละเอียดของเครื่องจักได้จากหลายมุมมอง จากรูปที่ 6.15 แสดงมุมมองสามมิติ ด้านหน้า และด้านข้าง ของเครื่องจักร ต้นแบบเสมือนนี้สามารถปรับเปลี่ยนชนิดเครื่องจักรได้ตามค่าพาราเมตริกควบคุม รวมไปถึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นแบบก่อสร้างต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



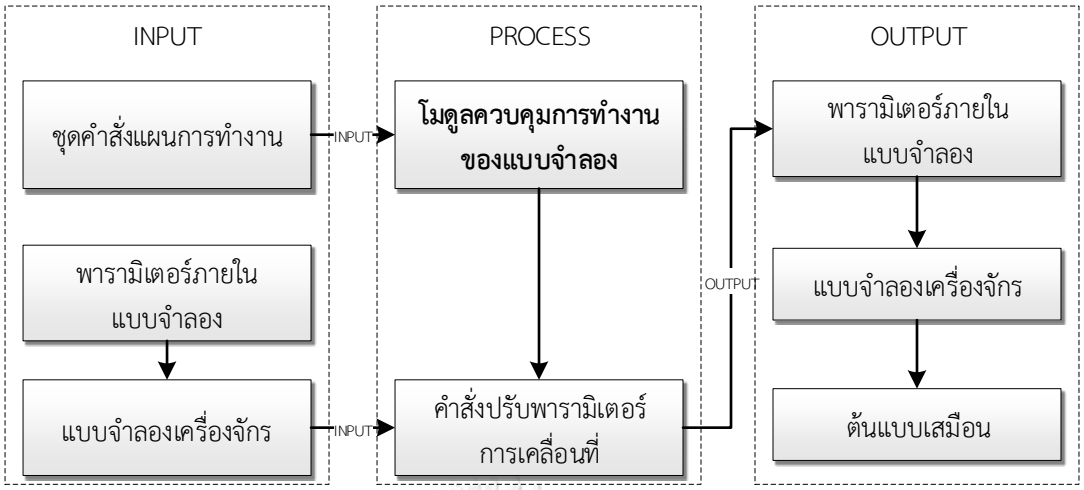
รูปที่ 6.15 การปรับเปลี่ยนมุมมองของแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อน

6.4.3 การพัฒนาโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง

การควบคุมแบบจำลองสนับสนุนการจำลองการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กเลื่อนจากข้อมูลสภาพพื้นที่จริงที่ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ โดยผู้ใช้เลือกชุดคำสั่งสร้างต้นแบบเสมือนที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาจาก Autodesk Dynamo BIM

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ Dynamo สามารถดึงข้อมูลชุดคำสั่งออกมาจากแผนงาน และนำค่าเหล่านั้นไปให้แบบจำลองทำงานตาม โดยแยกออกเป็น 14 ขั้นตอนของชุดคำสั่ง แบบจำลองพารามเตริกปรับเปลี่ยนรูปแบบที่แสดงผลออกมาตามคำสั่งเหล่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 6.16 โครงสร้างของโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง

6.4.4 การพัฒนาโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงาน

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานของเครื่องจักรมาสนับสนุนการเชื่อมโยงข้อมูลจากแบบจำลองสภาพพื้นที่ร่วมกับแบบจำลองเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนมาสร้างแผนวิธีการทำงานในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป โดยการคำนวณจากใช้ข้อมูลจากพิกัดกลุ่มจุดสามมิติเพื่อคำนวณหาเส้นทางการทำงานของเครื่องจักร เปรียบเทียบพิกัดความปลอดภัย และส่งคำสั่งไปยังโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองเครื่องจักรให้ปฏิบัติการตามผลการคำนวณเส้นทาง

การคำนวณเส้นทางการทำงานใช้การคำนวณแบบเวกเตอร์สามมิติ โดยเวกเตอร์เป็นตัวแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรในขณะกำลังทำงานและเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานให้เวกเตอร์จากหัวเสาโครงสร้างสะพานสองต้นที่ติดกันเป็นตัวแทนของโครงเหล็กเลื่อน โดยมีสมการการคำนวณดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$P_n = (X_n, Y_n, 0) \quad (1)$$

$$P_{n,turn} = (P_{n+1} + P_n)/2 = ((X_{n+1}, Y_{n+1}, 0) + (X_n, Y_n, 0))/2 \quad (2)$$

$$\overline{V_n} = (P_{n+1} - P_n)/2 = (X_{n+1}, Y_{n+1}, 0) - (X_n, Y_n, 0) \quad (3)$$

$$\overline{V_{n,turn}} = (P_{n+2} - P_{n,turn})/2 = (X_{n+2}, Y_{n+2}, 0) - (X_{n,turn}, Y_{n,turn}, 0) \quad (4)$$

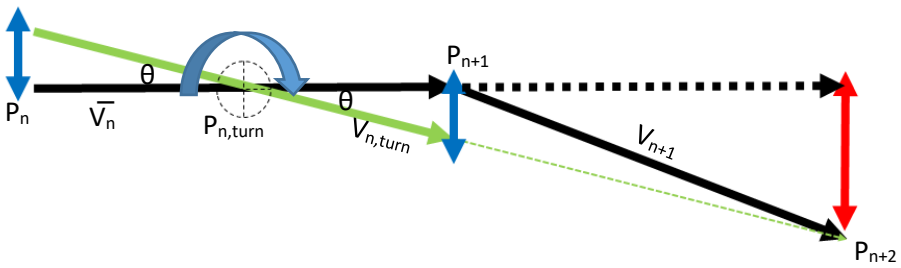
เมื่อ P_n คือ พิกัดจุดบนยอดเสาที่ n ซึ่งมีค่าพิกัด X_n และ Y_n

$P_{n,turn}$ คือ พิกัดจุดหมุนของโครงเหล็กเลื่อนเมื่อเคลื่อนที่

$\overline{V_n}$ คือ เวกเตอร์แสดงทิศทางจากยอดเสาที่ n ไป n+1

$\overline{V_{n,turn}}$ คือ เวกเตอร์แสดงทิศทางการหมุนของโครงเหล็กเลื่อนก่อนการเคลื่อนที่

สมการที่ (1) แสดงจุดบนยอดเสาโครงสร้างสะพานซึ่งมีค่าพิกัด X Y และ Z และเมื่อมีการวางตัวโครงเหล็กเลื่อนกับเสาต้นถัดไป เวกเตอร์แสดงทิศทางด้วยสมการที่ (3) เวกเตอร์แสดงทิศทางในสมการที่ (3) นี้จะนำไปใช้ร่วมกับโมดูลควบคุมแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนให้สามารถสร้างต้นแบบเสมือนได้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 6.17 เวกเตอร์คำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กเลื่อน

โครงเหล็กเลื่อนจะมีการเคลื่อนที่ในระบบสามมิติในขั้นตอนการเข้าโค้งถนน ซึ่งมีพารามิเตอร์ควบคุมการทำงานให้มีความปลอดภัยที่ ความชันของเครื่องจักร ตำแหน่งของ Front Leg และ ระยะที่ Stroke Hydraulic ปรับทิศทาง ในขั้นตอนการเคลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไป การขยับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากก่อให้เกิดโมเมนต์ระหว่างการทำงาน โดยเฉพาะขณะโครงเหล็กเลื่อนเอนตัวโดย Stroke Hydraulic เพื่อปรับทิศทาง มีค่าระยะที่ควบคุมให้ปลอดภัย หรือหาก Stroke Hydraulic ดันมากเกินไปทำให้จุดถ่ายน้ำหนักเยื้องศูนย์ออกจากจุดรองรับทำให้เกิดการวิบัติ

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานวิธีการคำนวณเส้นทางโครงเหล็กเลื่อนให้ Stroke Hydraulic ทำงานปรับทิศทางให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันปัญหาการถ่ายน้ำหนักที่เยื้องศูนย์ เมื่อพิจารณารูปที่ 6.17 จะเห็นว่าจุดที่ทำให้ Stroke Hydraulic ที่ตำแหน่งหัวเสา P_n และ P_{n+1} ทำงานปรับทิศทางน้อยที่สุดคือจุดกึ่งกลางระหว่างเสาทั้งสองต้น $P_{n,turn}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

ขณะที่โครงเหล็กเลื่อนปรับทิศทางเพื่อเคลื่อนที่ขณะเข้าโค้งจะใช้เวกเตอร์ $\overline{V_{n,turn}}$ ที่ได้จากสมการที่ (4) เวกเตอร์นี้สามารถนำไปคำนวณระยะที่โครงเหล็กเลื่อนเปลี่ยนทิศทางเทียบกับค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองในโมดูลการแสดงสถานะ และนำไปสร้างต้นแบบเสมือนในโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง

ในกระบวนการสุดท้ายที่โครงเหล็กเลื่อนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเสร็จสิ้น ขั้นตอนการยกชิ้นส่วนเพื่อติดตั้งโครงเหล็กเลื่อนจะเปลี่ยนตำแหน่งไปที่เสาต้นที่ n+1 และ n+2 ซึ่งแสดงด้วยเวกเตอร์ $\overline{V_{n+1}}$ จึงเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการทำงาน

6.4.5 การคำนวณเทียบพารามิเตอร์ควบคุมการทำงาน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนคือ

1) ควบคุมการปรับทิศทางที่ตำแหน่ง Front Leg ยอมได้ไม่เกิน 0.80 เมตร

2) ควบคุมการปรับทิศทางด้วย Stroke Hydraulic ยอมได้ไม่เกิน 0.30 เมตร

3) Launcher ยก/กด ขณะทำงานได้ไม่เกิน 5% หากเกินควรแจ้งผู้ออกแบบและควบคุมไม่ให้เกิน 7%

4) การดัน Front Leg ไปข้างหน้าให้ขนานกับแนวขวางของ Pier Segment ที่เสาต้นถัดไปก่อน กำหนดเผื่อความสูงไว้มากกว่า 3.8 เมตร

เวกเตอร์ที่เป็นตัวแทนการทำงานของแบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนในขณะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปจะแสดงด้วย สามเวกเตอร์คือ $\overline{V_n}$ $\overline{V_{n,turn}}$ และ $\overline{V_{n+1}}$ เนื่องจากแต่ละเวกเตอร์จะแสดงสถานะของโครงเหล็กเลื่อนในขณะเคลื่อนที่ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเปรียบเทียบพารามิเตอร์ควบคุมได้ ดังต่อไปนี้

$$\theta = \arccos(\overline{V_n} \bullet \overline{V_{n,turn}}) / (\|\overline{V_n}\| \|\overline{V_{n,turn}}\|) \quad (5)$$

$$FL = \|\overline{V_{n,turn}}\| \sin(\theta) \quad \text{เมื่อ } (FL \le 0.80 \text{ m}) \quad (6)$$

$$R = \|\overline{V_n}\| \tan(\theta) / 2 \quad \text{เมื่อ } (R \le 0.30 \text{ m}) \quad (7)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ θ คือ มุมที่โครงเหล็กเลื่อนปรับทิศทางจาก $\overline{V_n}$ ไป $\overline{V_{n,turn}}$

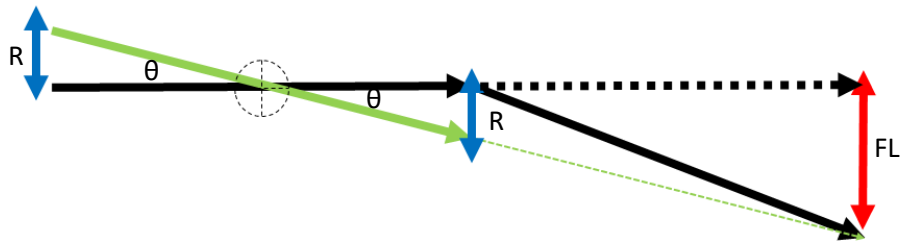
$\|\overline{V_n}\|$ คือ ขนาดเวกเตอร์ $\overline{V_n}$ หรือระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ n ไปยัง n+1

$\|\overline{V_{n+1}}\|$ คือ ขนาดเวกเตอร์ $\overline{V_n}$ หรือระยะห่างระหว่างเสาต้นที่ n+1 ไปยัง n+2

$\|\overline{V_{n,turn}}\|$) คือ ขนาดเวกเตอร์ $\overline{V_{n,turn}}$

FL คือ ระยะที่ Front Leg ต้องปรับทิศทางเข้าเสาต้นที่ n+2

R คือ ระยะที่ Stroke Hydraulic ปรับทิศทางขณะทำการเลี้ยว



รูปที่ 6.18 ตำแหน่งของพารามิเตอร์ควบคุมโครงเหล็กเลื่อนรูปที่ 6.18 และ สมการที่ (5) แสดงมุมที่โครงเหล็กเลื่อนใช้ปรับทิศทางขณะเข้าโค้งถนน สมการที่ (6) และ (7) ใช้คำนวนระยะที่ต้องปรับทิศทาง Front Leg ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ยอมได้ไม่เกิน 0.80 เมตร และระยะควบคุมการปรับทิศทางด้วย Stroke Hydraulic ยอมได้ไม่เกิน 0.30 เมตร

$$P'_n = (X_n, Y_n, Z_n) \quad (8)$$

$$P'_{n,turn} = (P_{n+1} + P_n)/2 = ((X_{n+1}, Y_{n+1}, Z_{n+1}) + (X_n, Y_n, Z_n))/2 \quad (9)$$

$$\overline{V'}_n = (P_{n+1} - P_n)/2 = (X_{n+1}, Y_{n+1}, Z_{n+1}) - (X_n, Y_n, Z_n) \quad (10)$$

$$\overline{V'}_{n,t'urn} = (P_{n+2} - P_{n,turn})/2 = (X_{n+2}, Y_{n+2}, Z_{n+2}) - (X_{n,turn}, Y_{n,turn}, Z_{n,turn}) \quad (11)$$

เมื่อ P'_n คือ พิกัดจุดบนยอดเสาที่ n ซึ่งมีค่าพิกัด X_n Y_n และ Z_n

$P'_{n,turn}$ คือ พิกัดจุดหมุนของโครงเหล็กเลื่อนเมื่อเคลื่อนที่

$\overline{V'}_n$ คือ เวกเตอร์แสดงทิศทางจากยอดเสาที่ n ไป n+1

$\overline{V'}_{n,turn}$ คือ เวกเตอร์แสดงทิศทางการหมุนของโครงเหล็กเลื่อนก่อนการเคลื่อนที่

$$H = (\overline{V'}_{n+1} - (\overline{V'}_n /2)) \bullet \overline{Z} \quad \text{เมื่อ } (H \geq 3.80 \text{ m}) \quad (12)$$

$$S = \tan(\arcsin (H / ||\overline{V}||)) \times 100\% \quad \text{เมื่อ } (S \leq 5\%) \quad (13)$$

เมื่อ H คือ ความสูงที่ Front Leg ต้องอยู่เหนือเสาต้นที่ n+2

$\overline{Z}$ คือ เวกเตอร์แกน Z ขนาด 1 หน่วย

$\overline{V}$ คือ เวกเตอร์แสดงทิศทางโครงเหล็กเลื่อนที่ตำแหน่งใดๆ

$||\overline{V}||$ คือ ขนาดเวกเตอร์แสดงทิศทางโครงเหล็กเลื่อนที่ตำแหน่งใดๆ

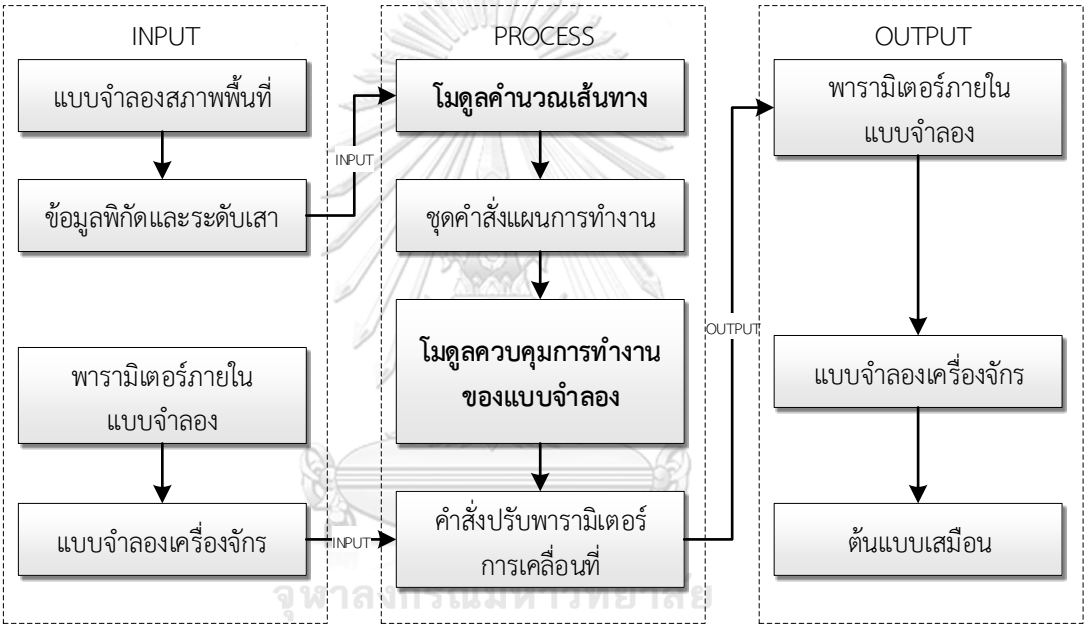
S คือ ค่าความลาดชันของโครงเหล็กเลื่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สมการที่ (8) คำนวณระยะความสูงระหว่าง Front Leg และ Pier Segment ของเสาต้นที่ n+2 ซึ่งกำหนดเผื่อความสูงไว้ให้มากกว่า 3.8 เมตร และสมการที่ (9) คำนวณความลาดชันของโครงเหล็กเลื่อนขณะทำงานให้ได้ไม่เกิน 5% หากเกินควรแจ้งผู้ออกแบบและควบคุม

6.5 ต้นแบบเสมือนแสดงวิธีทำงานก่อสร้าง

งานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบเสมือนแสดงวิธีการทำงานของเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนในกรณีศึกษาที่ 4 จากการใช้ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง ผลจากการประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวกับแนวคิดการใช้อากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่กับการวางแผนวิธีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนจะนำเสนอในส่วนต่อไปนี้

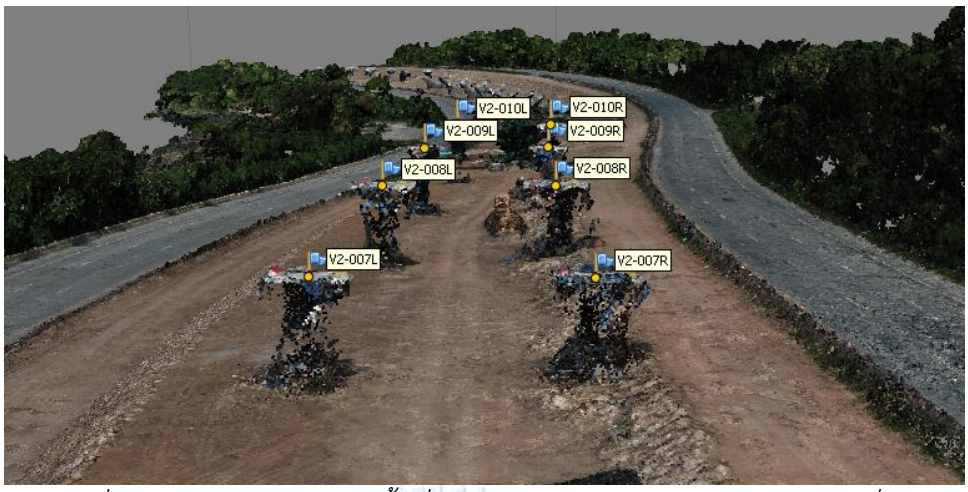


รูปที่ 6.19 โครงสร้างของโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง (ใหม่)

6.5.1 ส่วนแบบจำลองสภาพพื้นที่

งานวิจัยนี้ได้ใช้อากาศยานไร้คนบังคับเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษา อากาศยานไร้คนบังคับถูกตั้งค่าวิธีการเก็บข้อมูลตามผลการทดลองจากพื้นที่ทดสอบในบทที่ 4 และนำภาพถ่ายที่ได้มาสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่

แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงสภาพปัจจุบันของงานก่อสร้างเสาโครงสร้างสะพาน พื้นที่ว่างสำหรับทำงาน เส้นทางขนส่งวัสดุ และอุปสรรคภายในพื้นที่ก่อสร้าง งานวิจัยนี้สามารถอ้างอิงข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 6.20 แบบจำลองสภาพพื้นที่แสดงเส้นทางการทำงานของโครงเหล็กเลื่อน

การสังเคราะห์ข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับของเสาโครงสร้างสะพานได้ในรูปชุดข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับที่เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของโครงเหล็กเลื่อน ชุดข้อมูลนี้นำไปใช้ในการวางแผนวิธีการทำงานของเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนด้วยโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นต่อไป

อย่างไรก็ตามแบบจำลองสภาพพื้นที่ของกรณีศึกษาที่ 4 นี้ไม่ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เนื่องจากพื้นที่ก่อสร้างในกรณีศึกษามีพื้นที่ที่จำกัดและมีกิจกรรมตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถสร้างหมุดทดสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในพื้นที่จริงได้ ดังนั้นค่าพิกัดและค่าระดับโครงสร้างที่ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ยังคงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปใช้งานจริง แต่เพื่อให้สามารถพัฒนาโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานต่อไปได้ งานวิจัยนี้จึงทดสอบกับชุดค่าพิกัดดังกล่าวเพื่อเป็นตัวอย่างในการพัฒนาระบบต่อไป

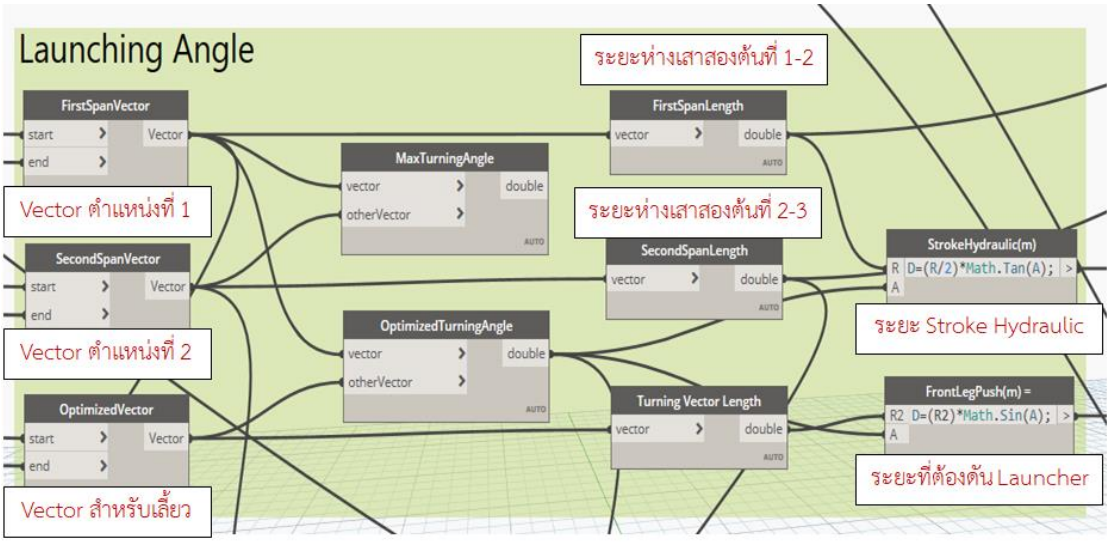
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5.2 แบบจำลองเครื่องจักรและชิ้นส่วนโครงสร้าง

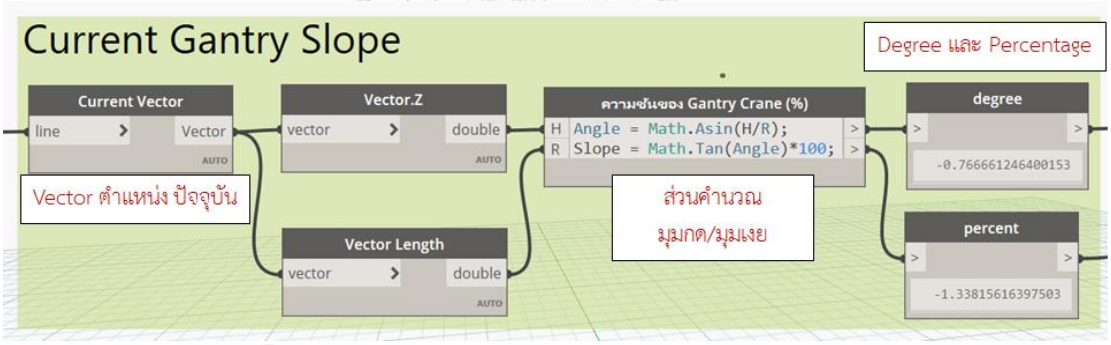
แบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนที่เป็นพาราเมตริกโมเดลและโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองทำงานร่วมกันเพื่อทำให้แบบจำลองสามารถเคลื่อนไหวในต้นแบบเสมือนได้ งานวิจัยนี้พัฒนาโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานของโครงเหล็กเลื่อนเพื่อให้ระบบสามารถสร้างแผนวิธีทำงานโดยอัตโนมัติ

ในส่วนโปรแกรมคำนวณการเลี้ยวโค้ง รูปที่ 6.21 ข้อมูลตำแหน่งเส้นทางการทำงานที่ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ได้รับการคำนวณเวกเตอร์เพื่อกำหนดแผนวิธีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป ผลของการคำนวณในส่วนนี้คือระยะของ Stroke Hydraulic ระยะดันของโครงเหล็กเลื่อน และระยะห่างของเสาต้นถัดไป ซึ่งระยะเหล่านี้เป็นตัวแปรพิกัดควบคุมการแผนทำงานที่ปลอดภัย

ส่วนโปรแกรมคำนวณค่าความชัน รูปที่ 6.22 ใช้คำนวณสภาพปัจจุบันของเครื่องจักรขณะทำงาน มุมกดหรือมุมเงยขณะทำงาน



รูปที่ 6.21 ส่วนโปรแกรมคำนวณการเลี้ยวโค้ง

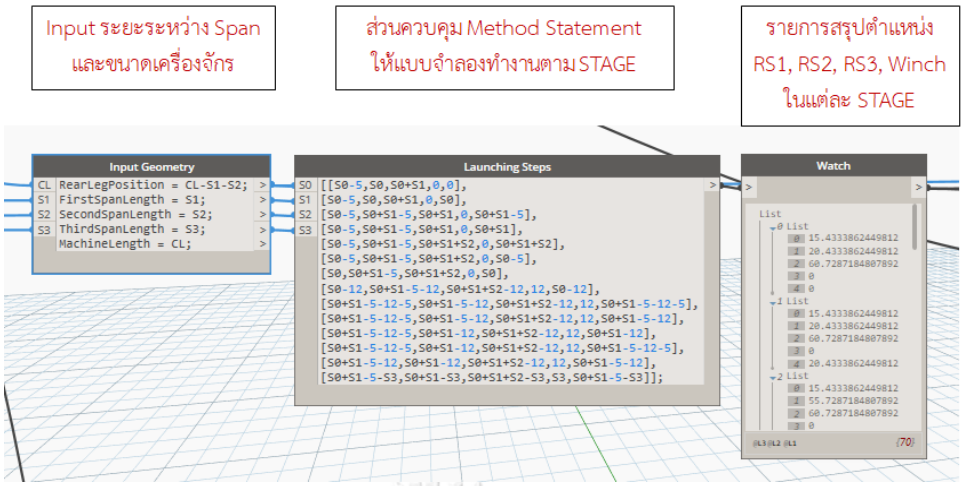


รูปที่ 6.22 ส่วนโปรแกรมคำนวณค่าความชันระหว่างการทำงาน

6.5.3 การแสดงขั้นตอนวิธีทำงานก่อสร้าง

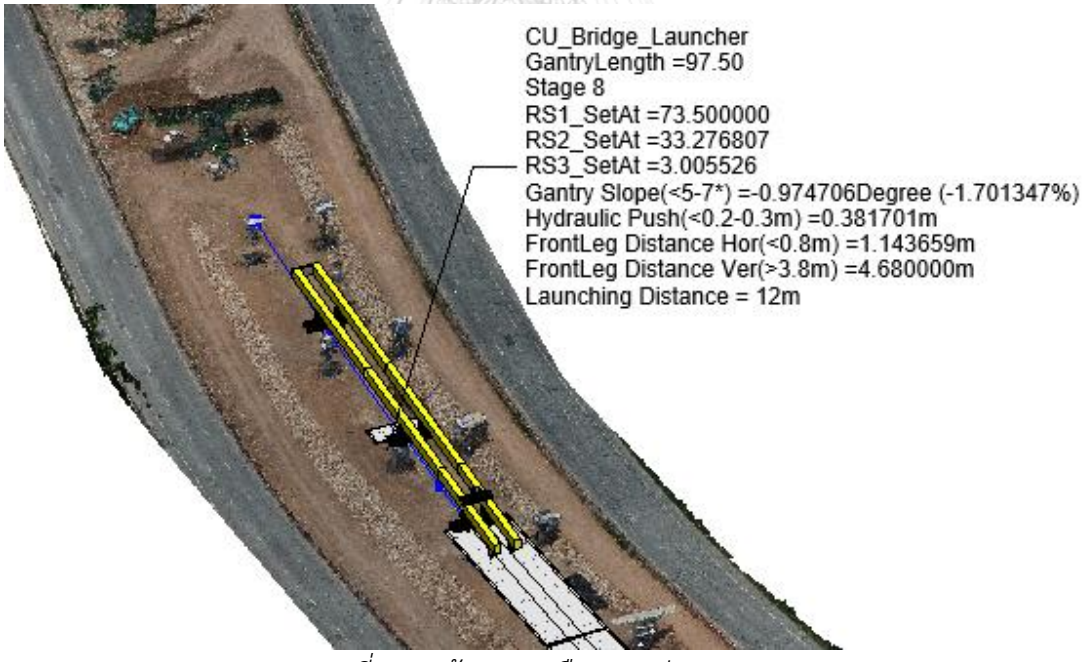
โมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานและโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองเครื่องจักรมีแนวคิดการแสดง ต้นแบบเสมือนในแบบจำลองสารสนเทศแบบภาพเคลื่อนไหวสามมิติในแต่ละขั้นตอนพร้อมรายละเอียดวิธีการทำงานประกอบ

ในงานวิจัยนี้แบ่งกิจกรรมเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนเป็น 14 ขั้นตอน (Stage) ผลรายการคำนวณจากโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานถูกส่งเข้ามาที่โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองและแสดงผลในแผนภาพสามมิติ โดยการควบคุม RS1 RS2 RS3 Winch และ Main Truss ให้เป็นไปตามทิศทางของเวกเตอร์ผลลัพธ์

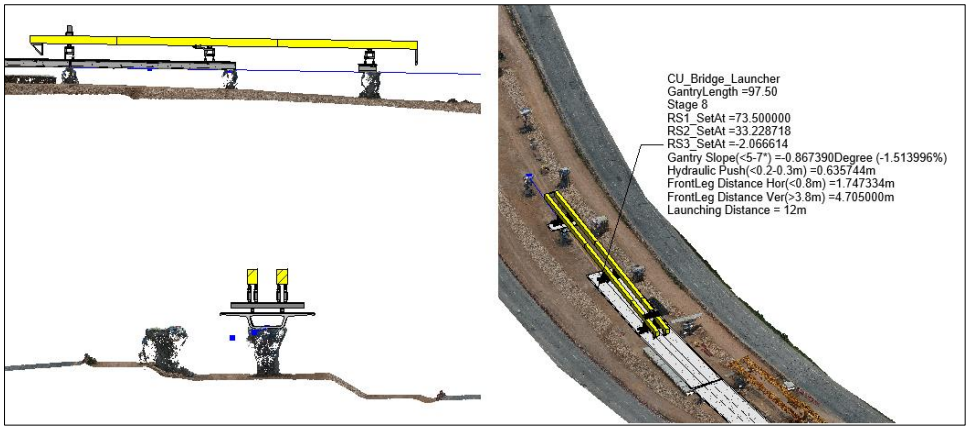


รูปที่ 6.23 ส่วนโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองเครื่องจักร

ส่วนแสดงสถานะของแบบจำลองเครื่องจักรใช้ติดตามและควบคุมค่าพารามิเตอร์ปลอดภัยที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบและผู้ควบคุม แผนการทำงานแสดงผลในรายการคำนวณหรือภาพเคลื่อนไหว



รูปที่ 6.24 ต้นแบบเสมือนและส่วนแสดงผล



รูปที่ 6.25 หน้าต่างรวมของระบบ LG-VPS

ระบบ LG-VPS สามารถแสดงวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนในแบบจำลองพื้นที่ โดยหน้าต่างจากทำงาน รูปที่ 6.25 สามารถปรับเปลี่ยนได้หลายมุมมอง ส่วนแสดงผลจะแสดงสถานะของเครื่องจักรขณะที่ทำงานในขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป ต้นแบบเสมือนนี้จะสนับสนุนขั้นตอนการวางแผนวิธีทำงานในด้านการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจ

6.6 ข้อจำกัดในการใช้ระบบวางแผนวิธีทำงาน

ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในระหว่างการพัฒนา ดังนี้

1) ระบบจะช่วยวางแผนขั้นตอนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนชนิดที่ใช้ในกรณีศึกษาเท่านั้น การเปลี่ยนชนิดเครื่องจักรหรือแผนวิธีการทำงานใหม่ต้องมีการปรับแก้ไขแบบจำลอง BIM และโมดูลควบคุมแบบจำลองโดยเฉพาะ

2) การใช้ค่าพิกัดที่ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่เป็นเพียงการเสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองในงานวิจัยนี้ การนำแบบจำลองสภาพพื้นที่ไปใช้จริงจำเป็นต้องมีการควบคุมความคลาดเคลื่อนให้เหมาะสมกับกิจกรรมก่อสร้างแต่ละประเภทด้วยอย่างเคร่งครัด

3) งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานวิธีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป โดยมีพื้นฐานจากการสัมภาษณ์ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมเครื่องจักร และลงพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยตนเองในกรณีศึกษาเท่านั้น สมติฐานวิธีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปในโมดูลคำนวนเส้นทางจึงเป็นการสำเสนอแนวคิดการพัฒนาโปรแกรมช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างแบบอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบช่วยวางแผนมีพื้นฐานจากเครื่องจักรในกรณีศึกษาเฉพาะ Geometrical Control เท่านั้น แผนวิธีทำงานที่ได้ยังคงต้องให้ความสำคัญถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอื่นที่ไม่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้

5) ต้นแบบเสมือนผลลัพธ์ที่ได้จากระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานในงานวิจัยนี้สามารถนำไปสนับสนุนขั้นตอนวางแผน และควบคุมการบวนการทำงาน (Process Control) การนำไปใช้วางแผนวิธีทำงานก่อสร้างจริงจำเป็นต้องมีวิศวกรควบคุมด้วย

6.7 สรุปการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง

งานวิจัยนำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่ประกอบไปด้วย ส่วนการสร้างแบบจำลองพื้นที่ ส่วนแบบจำลอง BIM โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง โมดูลคำนวณเส้นทางการทำงาน และส่วนแสดงสถานะของแบบจำลอง

ผลจากการพัฒนาระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างในและนำไปทดสอบกับกรณีศึกษาที่ 4 เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานของโครงเหล็กเลื่อน (Segmental Gantry Crane) ระบบสามารถใช้ประโยชน์จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในการอ้างอิงข้อมูลสภาพปัจจุบันมาใช้ในการวางแผนวิธีการทำงานได้ด้วยโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานที่พัฒนาขึ้นมาควบคุมแบบจำลอง

ต้นแบบเสมือนแสดงขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปของโครงเหล็กเลื่อนและส่วนแสดงสถานะภาพการทำงานของเครื่องจักร การปรับเปลี่ยนมุมมองในต้นแบบเสมือนที่แสดงองค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างที่เป็นอุปสรรคในการทำงาน สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจและเลือกวิธีทำงานก่อสร้างที่เหมาะสมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบจำลองเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนเป็นแบบพาราเมตริกโมเดลทำให้การเปลี่ยนแบบชนิดของเครื่องจักรสามารถแก้ไขแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีพื้นฐานมาจากการเก็บข้อมูลในโครงการกรณีศึกษาและใช้สมมติฐานการเคลื่อนที่จากการสัมภาษณ์ แบบจำลองโครงเหล็กเลื่อนดังกล่าวต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องเพิ่มเติม และโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานและควบคุมแบบจำลองพัฒนามาจากเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนที่ก่อสร้างสะพานแบบคอนกรีตอัดแรงหลายช่วงเท่านั้น การเปลี่ยนวิธีทำงานก่อสร้างแบบอื่นยังคงมีความจำเป็นต้องมีการปรับแก้โปรแกรมส่วนควบคุมเพิ่มเติมก่อนนำไปใช้งานจริง

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

ในการวางแผนวิธีการทำงาน (Method Statement) ของระดับกระบวนการก่อสร้าง (Process Level) จะให้ผู้วางแผนที่มีประสบการณ์และความรู้ในกิจกรรมก่อสร้างนั้นๆ โดยเฉพาะในกิจกรรมที่มีความจำเป็นต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้านของผู้วางแผนปฏิบัติการเพื่อการตัดสินใจเลือกวิธีทำงานก่อสร้างที่เหมาะสม การวางแผนวิธีการทำงานจัดทำโดยฝ่ายบริหารงานก่อสร้างเพื่อเสนอแก่เจ้าของโครงการ เพื่อกำหนดวิธีการก่อสร้างที่ปลอดภัยและเป็นมาตรฐานภายในโครงการ

ข้อมูลสภาพพื้นที่ทำงานก่อสร้างที่เป็นปัจจุบันและมีความครบถ้วนสมบูรณ์ทำให้การสร้างต้นแบบเสมือนในแบบจำลองสามารถสะท้อนกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ด้วยการใช้แบบจำลองกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud Model) แทนข้อมูลสภาพแวดล้อมพื้นที่ทำงาน โดยแต่ละจุดเป็นตัวแทนแสดงพื้นผิวของวัตถุใดๆภายในพื้นที่สำรวจในระบบพิกัดสามมิติ ระบุพื้นที่ว่างในการทำงานวิเคราะห์เพื่อแก้ไข้อุปสรรคที่มีผลต่อกิจกรรมก่อสร้าง

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดการในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก่อสร้างด้วยอากาศยานไร้คนบังคับและชุดโปรแกรมประมวลผลจากภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติและแบบจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่โครงการร่วมถึงสิ่งแวดล้อมข้างเคียงทดแทนการสำรวจด้วยวิธีทั่วไป งานวิจัยนี้ได้พิสูจน์กรอบแนวคิดนี้ด้วยการทดสอบอากาศยานไร้คนบังคับและสร้างแบบจำลองพื้นที่ในเขตของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองที่มีผลมาจากมุมกล้องถ่ายภาพ และจำนวนเส้นทางการบิน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแผนวิธีสำรวจด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นแบบจำลองสภาพพื้นที่มีความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมตามทรัพยากรที่มี

องค์ความรู้ที่มีการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สนับสนุนระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างจากการสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ ระบบนำเสนอการใช้อากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสำรวจพื้นที่ก่อสร้างขนาดใหญ่และมีระยะทางมากที่วิธีการสำรวจด้วยวิธีทั่วไปมีข้อจำกัดเพื่อนำมาซึ่งแบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้าง

ภายในระบบยังประกอบไปด้วยส่วนแบบจำลอง BIM ที่ประกอบไปด้วยแบบจำลองเครื่องจักร แบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้าง และแบบจำลองโครงสร้างชั่วคราว ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก่อสร้างประเภททางยกระดับ แบบจำลองพาราเมตริกนี้สามารถควบคุมให้จำลองวิธีทำงานก่อสร้างโดยตรงหรือใช้โมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 โดยการสร้างต้นแบบเสมือน กิจกรรมก่อสร้างเพื่อพิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนพื้นที่กองเก็บวัสดุก่อสร้าง ผลการประยุกต์ใช้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถสร้างต้นแบบเสมือนแสดงการใช้พื้นที่ก่อสร้างในการบริหารจัดการกองเก็บวัสดุ การเลือกชนิดเครื่องจักรก่อสร้างที่เหมาะสมกับกิจกรรมและสภาพพื้นที่ การระบุอุปสรรคเพื่อวางแผนการปรับพื้นที่ก่อสร้างให้สามารถทำงานได้

ในกรณีศึกษาที่ 3 นำเสนอต้นแบบเสมือนจำลองการเลี้ยวของรถบรรทุกชิ้นส่วนซึ่งเป็นผลมาจากการใช้โปรแกรมควบคุมแบบจำลองยานพาหนะของ Autodesk Vehicle Tracking การผสานแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขที่สร้างจากกลุ่มจุดสามมิติจะทำงานสอดคล้องไปกับแบบจำลองรถบรรทุกไปกับพื้นผิวถนนจริง อุปสรรคและสิ่งแวดล้อมข้างเคียงจะได้รับการระบุตลอดเส้นขนส่งในรูปกลุ่มจุดสามมิติ โปรแกรมดังกล่าวสามารถสร้างต้นแบบเสมือนมุมมองคนขับรถ ภาพมุมสูง หรือภาพติดตามซึ่งเป็นประโยชน์แก่การวางแผน การสื่อสาร และการทดสอบวิธีการทำงาน

และสุดท้ายงานวิจัยนี้นำเสนอระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากแบบจำลองสภาพพื้นที่ในการวางแผนวิธีทำงานของเครื่องจักรโครงเหล็กเลื่อนในกิจกรรมยกชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปในกรณีศึกษาที่ 4 โปรแกรมที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างต้นแบบเสมือนและควบคุมแบบจำลองเครื่องจักรให้ทำงานบนแบบจำลองสภาพพื้นที่โดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถนำไปใช้สื่อสารในขั้นตอนการวางแผน การผสานงานร่วมกันระหว่างผู้เกี่ยวข้อง การวางแผนจัดการพื้นที่ โมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานและส่วนแสดงผลสถานะของแบบจำลองเครื่องจักรในขณะที่ทำงานในสถานะต่างๆเพื่อตรวจสอบเทียบกับพิกัดทำงาน ค่าปลอดภัย และสร้างแผนวิธีควบคุมเครื่องจักร

7.2 ผลการทำงานวิจัย

1) ได้ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนบังคับเพื่อสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้าง

2) ได้แบบแผนการทดสอบเครื่องมือและวิธีควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมตามทรัพยากรที่มี

3) ได้พิสูจน์กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่จากอากาศยานไร้คนบังคับในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างด้วยต้นแบบเสมือน

4) ได้ชุดแบบจำลองเครื่องจักร แบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้าง และโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองที่มีความสำคัญกับงานก่อสร้างประเภททางยกระดับ

5) ได้ต้นแบบระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างโครงเหล็กเลื่อนที่พัฒนามาจากกรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพพื้นที่ ซึ่งสนับสนุนในขั้นตอนการวางแผนในการแสดงภาพในต้นแบบเสมือน

7.3 ข้อกำจัดและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลองสามารถใช้อ้างอิงกับชุดเครื่องมือ โปรแกรม และสถานที่ทดสอบที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเท่านั้น การนำกรอบแนวคิดนี้ไปประยุกต์ในสถานที่อื่นหรือชุดเครื่องมือที่ต่างออกไปอาจจะต้องมีการทดสอบซ้ำ เนื่องมาจากคุณภาพของชุดเครื่องมือเองหรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

จากการทดสอบกับชุดเครื่องมือและวิธีปฏิบัติแบบเดียวกันให้ผลลัพธ์เป็นความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับพื้นที่กรณีศึกษาที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของแนวคิดนี้กับพื้นที่ที่ทำการสำรวจ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในภาคผนวกเพื่อลดความคลาดเคลื่อนเชิงมิติของแบบจำลอง

แบบจำลองสภาพพื้นที่ในรูปกลุ่มจุดสามมิติแสดงพื้นผิวขององค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างมีความสามารถในการนำไปพัฒนาร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์พื้นที่เพื่อสนับสนุนการจัดการพื้นที่โครงการก่อสร้าง การวิเคราะห์ความขัดแย้งของแผนวิธีการทำงานที่ใช้ต้นแบบเสมือนในการวางแผนได้ล่วงหน้าก่อนเกิดการก่อสร้างจริงหรือใช้ปรับเปลี่ยนแผนวิธีการเหล่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

LG-VPS พัฒนาขึ้นมาจากกรอบแนวคิดนี้มีพื้นฐานมาจากกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ การนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างอื่นที่มีวิธีการก่อสร้างแบบเดียวกันได้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทั้งหมดเป็น BIM และ พาราเมตริกโมเดล ทำให้การแก้ไขแบบจำลองสามารถทำได้โดยพื้นฐานเดียวกัน

ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานของโครงเหล็กเลื่อนมีข้อจำกัดในด้านวิธีการทำงาน เนื่องจากกรณีศึกษามีวิธีการก่อสร้างแบบหลายช่วง (Multiple-Span) รูปแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง (Segmental Box Girder) ซึ่งหากมีการเปลี่ยนวิธีการก่อสร้างเป็นแบบอื่นๆจะต้องมีการปรับโครงสร้างระบบส่วนโมดูลควบคุมการทำงานของแบบจำลองและโมดูลคำนวณเส้นทางการทำงานใหม่

แผนวิธีการทำงานที่แสดงในต้นแบบเสมือนของงานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบของระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างเท่านั้น แบบจำลองเครื่องจักร แบบจำลองสภาพพื้นที่ก่อสร้าง และโมดูล

คำนวณเส้นทาง ยังไม่ได้รับการตรวจสอบถึงความถูกต้องในการทำงานจริง เนื่องจากเป็นกิจกรรมก่อสร้างที่อันตราย ต้องมีการควบคุมขั้นตอนการทำงานที่อาศัยความรู้จากหลายสาขา อาธิ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมโครงสร้าง ดังนั้นการนำรบบ LG-VPS ไปใช้งานจริงยังคงต้องมีการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาเพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์

7.4 แนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ในอนาคตชุดอากาศยานไร้คนบังคับย่อมมีการพัฒนาศักยภาพในการเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้น ทำให้การสร้างแบบจำลองสภาพพื้นที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้นตาม แนวคิดการประยุกต์แบบจำลองภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติที่ให้แบบจำลองสภาพพื้นที่มีความแม่นยำย่อมเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ระบบช่วยวางแผนวิธีทำงานโครงเหล็กเลื่อนในงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดกับเครื่องจักรก่อสร้างสะพานประเภทอื่นที่มีลักษณะการทำงานที่ต้องอาศัยข้อมูลสภาพพื้นที่ช่วยวางแผนวิธีทำงาน งานวิจัยนี้มีความคาดหวังให้เกิดการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้จากหลายสาขาวิชาทางวิศวกรรม เพื่อพัฒนาระบบช่วยวางแผนการทำงานของเครื่องจักรมีความสมบูรณ์เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P., Sánchez-Hermosilla López, J., Mesas-Carrascosa, F. J., García-Ferrer, A. and Pérez-Porras, F. J. (2018). Reconstruction of extreme topography from UAV structure from motion photogrammetry. *Measurement*. (Journal Article)

Ahmad, S. B. S., Svalestuen, F., Andersen, B. and Torp, O. (2016). *A Review of Performance Measurement for Successful Concurrent Construction.* Paper presented at the Procedia - Social and Behavioral Sciences. (Conference Proceedings)

Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A., Noardo, F. and Spano, A. (2016). *UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing.* Paper presented at the The International Archives of the Photogarammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, XXIII ISPRS Congress. (Conference Proceedings)

Baker, E., International Federation of Consulting, E., White and Case. (2009). *FIDIC Contracts: Law and Practice*. London: Informa Law from Routledge. (Book)

Benjaoran, V. and Bhokha, S. (2009). Enhancing visualization of 4D CAD model compared to conventional methods. *Engineering, Construction and Architectural Management*. (Journal Article)

Bhatla, A., Choe, S. Y., Fierro, O. and Leite, F. (2012). Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras. *Automation in Construction*. (Journal Article)

Borys, D. (2012). The Role of Safe Work Method Statements in the Australian Construction Industry. *Safety Science*. (Journal Article)

Chanpaisan, M. (2001). *A study of virtual model utilization for increasing communication capability in design stage.* (Master's thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Dai, F. and Lu, M. (2010). Assessing the Accuracy of Applying Photogrammetry to Take Geometric Measurements on Building Products. *Journal of Construction Engineering and Management*. (Journal Article)

Dieter, H., Werner, Z., Gunter, S. and Peter, S. (2005). Monitoring of gas pipelines – a civil UAV application. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. (Journal Article)

Fathi, H. and Brilakis, I. (2011). Automated sparse 3D point cloud generation of infrastructure using its distinctive visual features. *Advanced Engineering Informatics*. (Journal Article)

Federman, A., Santana Quintero, M., Kretz, S., Gregg, J., Lengies, M., Ouimet, C. and Laliberte, J. (2017). *UAV Photgrammetric Workflows: A Best Practice Guideline.* Paper presented at the The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 26th International CIPA Symposium 2017. (Conference Proceedings)

Gilson, K. and Mercure, B. (2014). Virtual Design and Construction of Transportation Projects. *Civil + Strucutural Engineer Magazine*, from https://csengineermag.com/article/virtual-design-and-construction-of-transportation-projects/ (Web Page)

Golparvar-Fard, M., Bohn, J., Teizer, J., Savarese, S. and Peña-Mora, F. (2011a). Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. *Automation in Construction*. (Journal Article)

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F. and Savarese, S. (2011b). Integrated Sequential As-Built and As-Planned Representation with D4AR Tools in Support of Decision-Making Tasks in the AEC/FM Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. (Journal Article)

Gore, S., Song, L. and Eldin, N. (2012). Photo-Modeling for Construction Site Space Planning (Publication no. 10.1061/9780784412329.136.). (Online Database)

Halpin, D. W. and Senior Bolivar, A. (2012). *Construction management*: Hoboken , NJ : Wiley, c2012. 4th ed. (Book)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

James, M. R., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S. and Niethammer, U. (2017). Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*. (Journal Article)

Jokkaw, N. (2003). *An integrated system of 3D process simulation, time and cost by using virtual reality technology.* (Ph.D. Dissertation, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

Kanatani, K. (2008). Statistical Optimization for Geometric Fitting: Theoretical Accuracy Bound and High Order Error Analysis. *International Journal of Computer Vision*. (Journal Article)

Kwon, S., Park, J.-W., Moon, D., Jung, S. and Park, H. (2017, 2017/01/01/). *Smart Merging Method for Hybrid Point Cloud Data using UAV and LIDAR in Earthwork Construction.* Paper presented at the Creative Construction Conference 2017. (Conference Proceedings)

Łabuz, T. A. (2016). A review of field methods to survey coastal dunes—experience based on research from South Baltic coast. *Journal of Coastal Conservation*. (Journal Article)

Li, H., Chan, N. K. Y., Huang, T., Skitmore, M. and Yang, J. (2012). Virtual prototyping for planning bridge construction. *Automation in Construction*. (Journal Article)

Li, H., Chan, G., Skitmore, M. and Huang, T. (2015). A 4D automatic simulation tool for construction resource planning: a case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*. (Journal Article)

OFSC. (2010). *Guidance for producing Safe Work Method Statements (SWMS)*. Department of Education, Employment and Workplace Relations, Office of the Federal Safety Commissioner. (Government Document)

Qu, T. and Sun, W. (2015). Usage of 3D Point Cloud Data in BIM (Building Information Modelling): Current Applications and Challenges. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. (Journal Article)

Siebert, S. and Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*. (Journal Article)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sillaparat, S. (2015). *A development of quantum GIS tool for linking video data with trajectory.* (Master's thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

Waly, A. F. and Thabet, W. Y. (2003). A Virtual Construction Environment for preconstruction planning. *Automation in Construction*. (Journal Article)

Wang, G. G. (2003). Definition and Review of Virtual Prototyping. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. (Journal Article)

Zolfagharian, S. and Irizarry, J. (2014). *Current Trends in Construction Site Layout Planning.* Paper presented at the Construction Research Congress 2014. (Conference Proceedings)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธีรพล จิรธรรมคุณ
วัน เดือน ปี เกิด	15 ธันวาคม 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University