การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในงานก่อสร้าง

นายวุฒิภัทร วัชรพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2566

APPLICATION OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR CONSTRUCTION

Mr. Wuttipat Wacharapun

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 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในงานก่อสร้าง
โดย	นายวุฒิภัทร วัชรพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วุฒิภัทร วัชรพันธ์ : การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในงานก่อสร้าง. (APPLICATION OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR CONSTRUCTION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.นพดล จอกแก้ว

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาใช้ในการก่อสร้าง ที่เน้นการเปลี่ยนแปลงงานในโครงการก่อสร้าง จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เพื่อประยุกต์ใช้ในการลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงงานในโครงการก่อสร้าง โดยสมมติฐานของงานวิจัยนี้คือ ความรู้สึกของผู้ทดสอบที่วัดโดยใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและสภาพแวดล้อมการก่อสร้างจริงก็ไม่ต่างกัน สมมติฐานได้รับการทดสอบโดยความรู้สึกของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้แบบสอบถามที่เปรียบเทียบระหว่างความรู้สึกที่วัดโดยเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง กับสภาพแวดล้อมจริง กรณีศึกษา 3 กรณี ในโครงการก่อสร้างจริงถูกนำมาใช้ในการทดลอง ผู้ตอบแบบสอบถาม 20 คนได้รับเลือกให้เยี่ยมชมสถานที่ก่อสร้างและเปรียบเทียบความรู้สึกระหว่างการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง กับสถานการณ์จริง จากนั้นนำการวิเคราะห์ทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าความรู้สึกของผู้ตอบแบบสอบถามที่ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และสถานการณ์จริงในโครงการก่อสร้างสำหรับทั้งสองกรณีศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้างได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170488921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: Virtual Environment, Change Orders, Construction Project

Wuttipat Wacharapun : APPLICATION OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR CONSTRUCTION . Advisor: Assoc. Prof. NOPPADON JOKKAW, Ph.D.

The objective of this research is to propose an application of Virtual Environment (VE) technology in the construction focused for change orders in the construction project.The possibility of Virtual Environment technology to apply for reducing the problems of change order in the construction project was studied.The assumption of this research is the feeling of users measured by using VE applications and the real situations are not different.The assumption was tested by the respondents' feeling using the questionnaire that compared between the feeling measured by VE applications and the real situations.The three cases studies in the real construction project were used for the experiment.The 20 respondents were selected to visit the construction site and compared the feeling between using VE application and the real situations.The statistical analysis was applied to analyze the data from the questionnaires.The results of the research show that the feeling of the respondents who applied the VE applications and the real situations in the construction project for both case studies are not significant difference.Therefore, it can be concluded that the VE technology is possibly applied in order to reduce the problems of change orders in the construction project.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Academic Year: 2023 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดีจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำและปรับแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการบริหารทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง รองศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ และ รองศาสตราจารย์ ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการปรับแก้วิทยานิพันธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณคุณวรรณา กรสวัสดิ์ ที่ให้คำแนะนำเรื่องเอกสารต่าง ๆ ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบริษัทเอกชนและผู้รับเหมาที่ได้ให้คำปรึกษาและเสียสละเวลา ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการจัดหาคนเพื่อนำมาใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการดำเนินงานวิจัย

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมสาขาวิชาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการศึกษา

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ที่ไม่ได้กล่าวถึง และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับการศึกษาต่อไปในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วุฒิภัทร วัชรพันธ์

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ปัญหาของงานวิจัย 4

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 5

1.5 การดำเนินงานวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 งานก่อสร้าง 7

2.1.1 นิยาม 7

2.1.2 ประเภทของงานก่อสร้าง 8

2.1.3 ชนิดของงานก่อสร้าง 8

2.1.3 ลักษณะเฉพาะของงานก่อสร้าง 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 ลักษณะของแบบก่อสร้าง 10
2.2 การเปลี่ยนแปลงงาน 11
2.2.1 ความหมายการเปลี่ยนแปลงงาน 11
2.2.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงงาน 12
2.2.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงาน 14
2.2.4 การบริการจัดการการเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้าง 15
2.3 เทคโนโลยีที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงงาน 16
2.3.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) 16
2.3.2 Augmented Reality (AR) 18
2.3.3 Virtual Reality (VR) 19
2.4 Head Mounted Display (HMD) 21
2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม 24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 25
3.1 ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
3.2 การคัดเลือกแบบแปลนเพื่อนำมาวิจัย 26
3.3 การพัฒนาแบบแปลนเพื่อทำการทดสอบ 26
3.3.1 การพัฒนาแบบแปลนสามมิติ 26
3.3.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 26
3.4 เครื่องมือที่ทางสถิติใช้ในงานวิจัย 27
3.4.1 สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค 27
3.4.2 การกำหนดประชากร 28
3.4.3 การเก็บข้อมูล 28
3.4.5 มาตรวัด (Likert Scale) 30
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบสอบถาม 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.1 การวัดผลความรับรู้ถึงขนาดสิ่งก่อสร้าง 31
3.6 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย 32
บทที่ 4 การพัฒนาโมเดลสามมิติเพื่อทำการทดสอบ 34
4.1 การพัฒนาโมเดลสามมิติ 34
4.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 35
4.3 การติดตั้งเครื่อง HTC Vive 36
1) เลือกพื้นที่ในการทดสอบ 36
2) การติดตั้ง Base Station 37
บทที่ 5 การวิเคราะห์ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 43
5.1 ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง 43
5.2.1 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 1 ห้องพัก 44
5.2.2 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 2 บันไดหนีไฟ 47
5.2.3 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 3 ห้องทำงาน 48
5.4 สรุปและอภิปรายผลการทดลองวัดความแตกต่างระหว่างความรู้สึกสภาพแวดล้อมจริงกับความรู้สึกสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 50
สมมติฐานที่ 1 ความรู้สึกระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยลำดับไม่แตกต่างกันเท่ากัน 50
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และข้อจำกัดงานวิจัย 51
6.1 สรุปผลการวิจัย 51
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 52
6.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย 52
บรรณานุกรม 53
ประวัติผู้เขียน 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 การจัดอันดับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงาน 2

ตารางที่ 1.2 ฝ่ายที่ได้รับประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงงาน 2

ตารางที่ 5.1 จำนวนร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกข้อมูลลักษณะส่วนบุคคล..... 43

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างขนาดสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 1..... 45

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างความสูงสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 1..... 46

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกด้านความปลอดภัยระหว่างสภาพแวดล้อมจริง กับความปลอดภัยสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 2..... 47

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างขนาดสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 3..... 48

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างความสูงสภาพแวดล้อมจริงกับความสูงสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 3..... 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 การใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 4

รูปที่ 2.1 กระบวนการใช้งาน AR..... 18

รูปที่ 2.2 Process of defect management by AR (Kwon et al., 2014) 19

รูปที่ 2.3 การสร้างภาพแบบจำลองโครงการก่อนเริ่มงานจริง (Hilfert et al., 2016)..... 21

รูปที่ 2.4 HTC VIVE (https://www.vive.com/sea/)..... 23

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานศึกษาวิจัย 25

รูปที่ 3.2 แสดงแบบแปลนก่อสร้างเปรียบเทียบกับการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 27

รูปที่ 4.1 แบบสองมิติกรณีศึกษา ห้องพักและบันไดหนีไฟ..... 34

รูปที่ 4.2 ภาพการพัฒนาโปรแกรม Revit จากแบบสองมิติ..... 35

รูปที่ 4.3 การประยุกต์กับโปรแกรม Enscape 36

รูปที่ 4.4 เครื่อง HTC Vive และอุปกรณ์..... 36

รูปที่ 4.5 การตั้งค่าขนาดห้องในการใช้ HTC Vive 37

รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ในการติดตั้ง Base Station..... 37

รูปที่ 4.7 ลักษณะการวาง Base Station..... 38

รูปที่ 4.8 ลักษณะ Base Station ที่พร้อมใช้งาน..... 38

รูปที่ 4.9 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ Controller Joystick..... 39

รูปที่ 4.10 การชาร์จ Controller Joystick..... 39

รูปที่ 4.11 แว่น VR และ Link Box..... 40

รูปที่ 4.12 การต่อ Link Box..... 40

รูปที่ 4.13 การติดตั้ง software 41

รูปที่ 4.14 VR Room Setup..... 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.15 การวัดขอบเขตพื้นที่..... 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันโครงการก่อสร้างหลายโครงการมีปัญหาการก่อสร้างล่าช้า กล่าวได้ว่าใช้เวลาในการก่อสร้างเกินวันที่กำหนดไว้ในสัญญาหรือเกินกว่าวันที่คู่สัญญาตกลงกันในการส่งมอบโครงการหรือเป็นโครงการที่เลื่อนเกินกำหนดเวลาที่วางแผนไว้ ถือเป็นปัญหาที่พบบ่อยในโครงการก่อสร้าง (Assaf & Al-Hejji, 2006) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างเกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการก่อสร้างทำให้เกิดความขัดแย้งตามมา และเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เช่น ความล่าช้าในการสร้างโครงการให้เสร็จสิ้น (Lokhande, Saif, & Ahmed, 2015)

การเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมการก่อสร้างมานาน โครงการก่อสร้างที่ดำเนินการเสร็จสิ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงพบได้น้อย สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างเกิดจากฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการ (Alaryan, Elbeltagi, Elshahat, & Dawood, 2014) ไม่ว่าจะเป็นเจ้าของงาน ผู้ออกแบบ หรือผู้รับเหมาก่อสร้าง การจะทำให้งานดำเนินไปได้ด้วยดีนั้น คนทั้งสามกลุ่มจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ตรงกันตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการจนเสร็จสิ้น เนื่องจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอาจส่งผลกระทบกับงานที่ได้เริ่มดำเนินการสร้างไปแล้วหากต้องการแก้ไข อาจต้องรื้อและสร้างใหม่ (Chirapat, 2019) และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างจะส่งผลกระทบต่อทั้งต้นทุนและเวลา (Alaryan et al., 2014)

การดำเนินอุตสาหกรรมก่อสร้างมีกระบวนการที่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการดำเนินการจึงมีแนวโน้มสูงที่จะเกิดขึ้นและเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Sun & Meng, 2009) การเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างเป็นกระบวนการหรือวิธีการที่เบี่ยงเบนไปจากแผนการก่อสร้างและข้อกำหนดเดิม มีการออกคำสั่งการเปลี่ยนแปลงเพื่อแก้ไขขอบเขตหรือการออกแบบเดิม (Park, 2002) คำสั่งการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างที่ออกระหว่างดำเนินการก่อสร้างมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนและเวลาของโครงการ อาจนำไปสู่ความล่าช้าไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาของโครงการ (Al-Nuaimi, Taha, Al Mohsin, & Al-Harthi, 2010) ซึ่งเป็นที่มาของข้อพิพาทของโครงการและการเรียกร้องในอนาคต (Desai, Pitroda, & Bhavsar, 2015)

จากงานวิจัยได้ใช้แบบสอบถามเพื่อหาข้อมูลสาเหตุผลประโยชน์และการแก้ไขคำสั่งเปลี่ยนแปลงโครงการก่อสร้าง (Ijaola & Iyagba, 2019)

ตารางที่ 1.1 การจัดอันดับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงาน

ผลกระทบ	RII	อันดับ
การเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้เกิดการอ้างสิทธิ์และข้อพิพาท	70.00	1
ความล่าช้าในวันที่โครงการแล้วเสร็จ	69.09	2
การมีค่าใช้จ่ายที่เกินจริง	69.09	2
ผู้รับเหมาส่วนใหญ่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง	66.36	4
การส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของแรงงาน	59.55	5
การส่งผลเสียต่อคุณภาพงาน	59.55	5

ตารางที่ 1 แสดงความเห็นโดยรวมของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับผลของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง ผลกระทบที่ถูกจัดอันดับเป็นผลกระทบที่สำคัญที่สุดของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงมีค่า RII เท่ากับ 70.00 คือ “การเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้เกิดการอ้างสิทธิ์และข้อพิพาท” เนื่องจากการเรียกร้องจะเกิดขึ้นจากฝ่ายหนึ่งไปยังอีกฝ่ายหนึ่งอันเป็นผลมาจากการตีความผิดหรือเข้าใจคำสั่งการเปลี่ยนแปลงผิดและนำไปสู่ข้อพิพาทในที่สุด อันดับที่สอง คือ “ความล่าช้าในวันที่โครงการแล้วเสร็จ” และ “การมีค่าใช้จ่ายที่เกินจริง” (ค่า RII เท่ากับ 69.09) เนื่องจากความล่าช้าในการก่อสร้างจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนของโครงการ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการออกแบบขอบเขตของงาน และดำเนินการก่อสร้างใหม่จะส่งผลต่อเวลาและต้นทุนของโครงการ นอกจากนั้นการต้องตัดสินใจหรือดำเนินการใหม่จะทำให้ระยะเวลาดำเนินการเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการใหม่ซึ่งจะทำให้ต้นทุนรวมของโครงการเพิ่มขึ้น ปัจจัยอันดับสุดท้ายคือ “การส่งผลเสียต่อคุณภาพงาน” และ “การส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของแรงงาน” โดยมีค่า RII เท่ากับ 59.55

ตารางที่ 1.2 ฝ่ายที่ได้รับประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงงาน

ฝ่ายที่ได้รับผลประโยชน์	RII	อันดับ
ผู้รับเหมาว่าเป็นฝ่ายที่ได้รับประโยชน์สูงสุด	58.63	1
ที่ปรึกษาโครงการ	51.36	2
เจ้าของโครงการ	49.55	3
ไม่มีฝ่ายใดได้รับประโยชน์	42.27	4

ผู้ตอบแบบสอบถามฝ่ายที่ได้รับประโยชน์จากคำสั่งเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 2) จัดอันดับผู้รับเหมาว่าเป็นฝ่ายที่ได้รับประโยชน์สูงสุดจากรูปแบบต่าง ๆ (ค่า RII 58.63) อันดับที่สอง คือ ที่ปรึกษา โดยมีค่า RII เท่ากับ (51.36) และอันดับที่สาม คือ เจ้าของโครงการ มีค่า RII มูลค่า (49.55) มีเพียงบางส่วนที่แสดงความเห็นว่าไม่มีฝ่ายใดได้รับประโยชน์จากรูปแบบต่าง ๆ (RII = 42.27)

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างจึงมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น ทางด่วน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม บ้านจัดสรร เนื่องจากการก่อสร้างที่ล่าช้าของโครงการทำให้สูญเสียรายได้ต่อวันเป็นมูลค่ามาก และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างโดยเจ้าของงานไม่ขยายเวลาโครงการเพิ่มให้ อีกทั้งการดำเนินงานมีความยากลำบาก อาจจะทำให้ผู้รับเหมาเสี่ยงที่จะเสียค่าปรับเนื่องจากงานล่าช้ากว่าแผนที่กำหนดไว้

และในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงแบบสามมิติ (3D Technique) เข้ามาช่วยในการออกแบบก่อสร้าง แต่เทคโนโลยีเสมือนจริงแบบสามมิติยังไม่สามารถสร้างความรู้สึกเหมือนจริงให้ผู้ใช้ได้ทั้งหมด เทคโนโลยีนี้จึงยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างได้เท่าที่คาดไว้ ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment : VE) เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการสร้างความรู้สึกของผู้ใช้ให้เหมือนอยู่ในสถานการณ์จริง เทคโนโลยีนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา หลายอุตสาหกรรมได้นำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้กับแอพพลิเคชันที่หลากหลายเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมในตลาดอสังหาริมทรัพย์ เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยจำลองภาพที่อยู่อาศัยให้ผู้ซื้อเห็นภาพใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อที่อยู่อาศัย หรือในระบบการขายล่วงหน้า โครงการหรือที่อยู่อาศัยที่ยังดำเนินการสร้างไม่เสร็จสิ้น ก็มีการนำเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment : VE) ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการจำลองภาพให้ผู้ซื้อได้เห็นภาพที่อยู่อาศัยเหมือนกับอยู่ในที่นั้น ๆ (Juan, Chen, & Chi, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.1 การใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
(ที่มา: https://news.cision.com/tobii-pro/i/tobiipro-eye-tracking-integrated-htc-vive--research-situatonal-awareness-construction-work-sites-192,m17399)

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

ในปัจจุบันแบบก่อสร้างมีความซับซ้อนในการออกแบบมากขึ้น มีแนวโน้มสูงที่จะเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในทีมผู้ก่อสร้าง ซึ่งหากทีมผู้ก่อสร้างเกิดความเข้าใจที่ไม่ตรงกัน จะนำไปสู่ขั้นตอนการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment : VE) จึงเป็นสิ่งที่น่าศึกษา เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงแล้ว ส่วนในประเทศไทยเทคโนโลยีนี้เพิ่งเป็นที่รู้จักได้ไม่นาน มีการนำเข้ามาใช้ในงานก่อสร้างแต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก

งานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงเข้ามาช่วยในการก่อสร้างเพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแบบในโครงการก่อสร้างในกลุ่มตัวอย่าง โดยเน้นไปที่โครงสร้างที่กำลังก่อสร้างหรืออยู่ในขั้นตอนการออกแบบ โดยให้เจ้าของหรือที่ปรึกษาโครงการขณะนั้นได้ทดลองใช้เทคโนโลยีการจำลองเสมือนจริงก่อนที่จะดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งมีอีกหลายเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการจำลองภาพเสมือนจริง เช่น เทคโนโลยีการจำลองภาพเสมือนที่มีการผสมผสานกับภาพจริง (Augmented Reality : AR) สามารถใช้ดูโมเดลได้สามมิติเช่นกัน แต่จะไม่สามารถให้ความรู้สึกของผู้ใช้ให้เสมือนจริงได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงตัดสินใจใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment : VE) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการสร้างความรู้สึกของผู้ใช้ในมิติต่าง ๆ ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความลึก ความสูง ความรู้สึกสบาย แน่นหนา หรือปลอดภัย โดยการศึกษานี้จะทำการทดสอบสมมติฐานจากการทำแบบสอบถามเปรียบเทียบวัดความรู้สึกในการชมการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมจริง

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ที่ต้องการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการจำลองใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้าง
2. เพื่อวิเคราะห์ความรู้สึกของผู้ใช้งานระหว่างในการใช้เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้างกับสภาพแวดล้อมจริง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. แบบที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นแบบของโครงการก่อสร้างอาคารสูงหรืออาคารสำนักงาน 2 โครงการ
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง คือ Head-Mounted Display (HMD)
3. ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน

1.5 การดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดโครงการที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
3. ทำการศึกษาแบบก่อสร้างและเขียนโมเดลของโครงการที่เลือกไว้
4. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบการรับรู้ของผู้ใช้ต่อขนาดของสิ่งก่อสร้างระหว่างการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงกับสภาพแวดล้อมจริง
5. จัดทำแบบสอบถามเพื่อใช้ประเมินการรับรู้ถึงความรู้สึกต่อสิ่งก่อสร้างระหว่างเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสภาพแวดล้อมจริง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างกันด้วยวิธีทางสถิติ
6. ทำการทดสอบการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงผ่าน HMD
7. ดำเนินการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบสอบถาม และวิเคราะห์ผลของแบบสอบถามที่ใช้ประเมิน
8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้าง
2. นำเสนอการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง สามารถลดปัญหาการแก้ไขแบบขณะก่อสร้างได้มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ โดยศึกษาจากบทความ เอกสาร วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยที่ถูกกล่าวถึงในบทนี้จะเรียบเรียงและนำเสนอตามลำดับ ดังนี้ (1) งานก่อสร้าง (2) การเปลี่ยนแปลงงาน (3) แอปพลิเคชันสำหรับลดคำสั่งการเปลี่ยนแปลง (4) อุปกรณ์จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ (5) สรุป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 งานก่อสร้าง

2.1.1 นิยาม

ก่อสร้าง หมายความว่า สร้างอาคารขึ้นใหม่ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการสร้างขึ้นแทนของเดิมหรือไม่ (พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522)

งานก่อสร้าง หมายความว่า งานก่อสร้างอาคาร งานก่อสร้างสาธารณูปโภค หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นใด และการซ่อมแซม ต่อเติม ปรับปรุง รื้อถอน หรือการกระทำอื่นที่มีลักษณะทำนองเดียวกันต่ออาคาร สาธารณูปโภค หรือสิ่งปลูกสร้างดังกล่าว รวมทั้งงานบริการที่รวมอยู่ในงานก่อสร้างนั้นด้วย แต่มูลค่าของงานบริการต้องไม่สูงกว่ามูลค่าของงานก่อสร้างนั้น

การซ่อมแซม หมายถึง การซ่อม การดำเนินการ และหรือการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบอันเป็นโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือสิ่งก่อสร้างทั้งหมดหรือบางส่วน ให้คงสภาพและหรือใช้งานได้ตามปกติดังเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปรับปรุง หมายถึง การแก้ไข การกระทำ และหรือการดำเนินการอื่นใด อันเป็นโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือสิ่งก่อสร้างทั้งหมดหรือบางส่วน ซึ่งได้ก่อสร้างไว้แล้วให้มีสภาพดีขึ้น

การต่อเติม หมายถึง การดัดแปลง เปลี่ยนแปลง เพื่อเพิ่มเติม หรือขยาย ซึ่งลักษณะขอบเขต แบบ รูปทรง สัดส่วน น้ำหนัก เนื้อที่ อันเป็นโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือสิ่งก่อสร้างทั้งหมดหรือบางส่วน ซึ่งได้ก่อสร้างไว้แล้วให้ผิดไปจากเดิม แต่มิใช่เป็นกรณีของการซ่อมแซม

การรื้อถอน หมายถึง การรื้อหรือดำเนินการอื่นใด เพื่อนำส่วนประกอบอันเป็นโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างหรือสิ่งก่อสร้างทั้งหมดหรือบางส่วนออกไป (พระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560)

2.1.2 ประเภทของงานก่อสร้าง

ประเภทของงานก่อสร้าง แบ่งได้ทั่วไป 4 ประเภท

1. ประเภทที่อยู่อาศัย ได้แก่ บ้านเดี่ยว บ้านแถวหรือบ้าน ทาวน์เฮาส์ อาคารชุด อพาร์ตเมนต์ ฯลฯ

2. ประเภทที่ใช้ในด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงกลั่นน้ำมัน โรงไฟฟ้า หรือโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมิคัล

3. ประเภทที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ศูนย์การค้า อาคารสำนักงาน ฯลฯ ส่วนใหญ่จะเป็นงานของภาคเอกชนเป็นผู้ลงทุนในโครงการ

4. ประเภทงานโยธาเพื่อใช้ในส่วนสาธารณูปโภค ได้แก่ งานถนนทางหลวง อุโมงค์ หัวเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ ท่าเรือ เป็นต้น โดยผู้ลงทุนมักเป็นหน่วยราชการ

2.1.3 ชนิดของงานก่อสร้าง

โดยทั่วไป งานก่อสร้างมักหมายถึง งานด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งมีหน้าที่ทำงานครอบคลุมเกี่ยวกับงานด้านก่อสร้างทั้งหมด ตั้งแต่งานก่อสร้างระดับขนาดเล็ก ๆ ไปจนกระทั่งถึงงานก่อสร้างระดับที่มีขนาดใหญ่ โดยงานก่อสร้างนั้นจะสามารถแบ่งออกไปตามประเภทงานได้ ดังนี้

1. งานอาคาร : เป็นงานก่อสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ พื้น คาน ฐานราก เสา ประตู หน้าต่าง กำแพงและหลังคา โดยยังรวมไปถึงงานในด้านระบบไฟฟ้า ระบบประปา ระบบปรับอากาศ ระบบสุขาภิบาล ระบบตกแต่งภายใน ลิฟต์และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้งานในอาคาร ยกตัวอย่างงานอาคาร เช่น งานก่อสร้างบ้านหรือที่พักอาศัย ห้างสรรพสินค้า โรงงาน โรงแรม คอนโดมิเนียม สำหรับงานอาคารจะสามารถแบ่งเป็นประเภทย่อย ได้ดังนี้

1.1 อาคารสูง เป็นอาคารที่มีระดับความสูง โดยจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเพื่อการก่อสร้าง เช่น ลิฟต์ ปั้นจั่น และนั่งร้านสำหรับแบบหล่อคอนกรีต เป็นต้น

1.2 อาคารสำเร็จรูป เป็นอาคารที่จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยอาจจะทำมาจากคอนกรีตหรือเหล็ก แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะทำจากโรงงาน การประกอบอาคารก็มักจะนิยมใช้เครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ในการช่วยยกติดตั้ง

1.3 บ้านพักอาศัย เป็นอาคารที่มีขนาดเล็กและเบา โดยทั่วไปมักจะมีระดับความสูง 1-2 ชั้น

1.4 อาคารที่พักชั่วคราว อันได้แก่ ที่พักคนงานหรือสถานที่ทำการในระยะชั่วคราวเพื่อใช้สำหรับการบริหารโครงการ

2. งานวิศวกรรมโยธา (Civil Engineering work) : ได้แก่ งานด้านถนน ทางหลวง สะพาน งานวางท่อประปา งานอาคารใต้ดิน งานเขื่อน งานก่อสร้างท่าเทียบเรือ โดยงานโยธาเป็นงานที่ต้องใช้เครื่องจักรหนัก ๆ เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน เพราะมีปริมาณของงานมาก ขอบเขตหรือพื้นที่ในการปฏิบัติงานยังค่อนข้างกว้าง ลึก หรือทั้งกว้างและลึก ลักษณะของแรงงานที่ใช้ก็จะใช้พลังงานในรูปของแรงอัด แรงสั่นสะเทือน แรงดัน แรงกระแทก แรงเหวี่ยง ฯ

3. โรงงานอุตสาหะกรรมและงานโรงไฟฟ้า (Process and Power Plant) : เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต อย่างเช่น โรงงานปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานโม่หิน ฯ โดยค่าก่อสร้างจะได้มาจากค่าสร้างระบบเสียส่วนใหญ่

4. งานก่อสร้างประเภทอื่น ๆ : นอกจากงานทั้ง 3 ประเภทแรกแล้วนั้น ยังมีงานในประเภทอื่น ๆ เช่น งานรื้อถอน งานก่อสร้างแท่นเจาะสูบก๊าซธรรมชาติ และงานน้ำมันดิบในทะเล

2.1.3 ลักษณะเฉพาะของงานก่อสร้าง

อุตสาหกรรมการก่อสร้างมักมีลักษณะที่แตกต่างกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ พอจะประมวลผลได้ดังนี้

1. เป็นงานผลิตที่ต้องกระทำในที่โล่งแจ้ง ในอาณาบริเวณที่กว้างใหญ่ และภายใต้ลักษณะดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงผันแปรอยู่เป็นประจำ

2. แผนปฏิบัติงานในที่ก่อสร้างจะผันแปรเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในลักษณะวันต่อวัน

3. เป็นงานผลิตที่ต้องใช้บุคลากรที่มีฝีมือและความชำนาญพิเศษในงานต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งบุคลากรเหล่านี้มีการเคลื่อนตัวจากถิ่นหนึ่งไปยังอีกถิ่นหนึ่ง หรือจากผู้ว่าจ้างหนึ่งไปยังอีกผู้ว่าจ้างหนึ่งโดยง่ายและรวดเร็ว

4. สถานที่ตั้งของสิ่งก่อสร้าง อยู่กระจัดกระจายตามท้องถิ่นต่าง ๆ ห่างจากสำนักงานกลางหรือสำนักงานท้องถิ่นของผู้ทำการก่อสร้าง ผู้ทำการก่อสร้างจำต้องจัด วัตถุดิบ บุคลากร เครื่องมือและเงิน ซึ่งเป็นปัจจัยของงานไปประกอบการ ณ สถานที่ตั้งนั้น ๆ ซึ่งผิดกับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์หรืองานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่สิ่งผลิตถูกส่งออกไปจากสถานที่ผลิตแทนที่จะจัดส่งปัจจัยไป เช่น งานก่อสร้าง

5. งานก่อสร้างจะได้รับความกระทบกระเทือน ซึ่งแก้ไขได้ยากหากบุคลากรมีความด้อยทางประสบการณ์และมาตรฐานของการออกแบบและก่อสร้าง และผลจะปรากฏเมื่องานนั้นได้เสร็จสิ้นไปแล้ว ซึ่งหากต้องมีการแก้ไข จะยุ่งยากในขั้นตอน เสียเวลาและทรัพย์สินมากกว่าการแก้ไขงานผลิตทางอุตสาหกรรมด้านอื่น

6. งานก่อสร้างประกอบด้วย งานชำนาญพิเศษ งานช่างฝีมือ และกิจกรรมต่าง ๆ มากมายหลากหลายสาขา

7. งานก่อสร้างเป็นผลิตผลที่สำเร็จด้วยบุคคล 2 กลุ่ม คือ สถาปนิกซึ่งทำงานด้านการออกแบบและผู้รับเหมาก่อสร้างหรือผู้ผลิต

8. เป็นงานที่มีความเสี่ยงสูงกว่างานอื่นทั้งชีวิต จิตใจ ร่างกาย และทรัพย์สิน

9. การก่อสร้างเป็นงานที่ขึ้นอยู่กับช่างฝีมือและแรงงานทั้งหมด ค่าแรงงานจึงมีสัดส่วนสูงเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ตามสถิติอยู่ในระหว่าง 30-50% ของราคาทุนของงาน

2.1.4 ลักษณะของแบบก่อสร้าง

แบบก่อสร้างเป็นหลักสำคัญในการดำเนินงานก่อสร้าง เป็นเอกสารที่จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างอาคารตามที่ได้กำหนดไว้จากผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรเครื่องกล วิศวกรไฟฟ้า วิศวกรสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ โดยแบบก่อสร้างนี้จะถูกใช้ตั้งแต่ประมูลงาน การทำแบบ Shop Drawing จนถึงงานก่อสร้างจริง การแบ่งประเภทแบบก่อสร้างมีการแบ่งตามลักษณะได้ 2 ประเภท คือ ตามขั้นตอนงาน และตามเทคนิคสาขาวิชาชีพ ดังนี้ (ไตรวัฒน์ วิรยศิริ, 2551)

1. ประเภทของแบบตามขั้นตอนงาน

1.1 แบบร่าง (Pre-liminary Design) คือ แบบขั้นแรกที่ออกแบบตามความต้องการของเจ้าของงาน

1.2 แบบร่างรายละเอียด (Design Development) คือ แบบที่ออกแบบให้มีรายละเอียดของวัสดุก่อสร้าง และขั้นตอนการก่อสร้าง ทั้งงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง และงานระบบ เพื่อให้สอดคล้องกัน

1.3 แบบก่อสร้าง (Construction Drawings) คือ แบบที่จะใช้ก่อสร้างจริง และนำไปขออนุญาตก่อสร้างจากหน่วยราชการ พร้อมกับใช้ในการประมูลงานของผู้รับเหมา

1.4 แบบหน้างาน (Shop Drawings) คือ แบบที่ผู้รับเหมาทำขึ้นเพื่อใช้งานในก่อสร้างจริงที่อาจจะตรงและไม่ตรงกับตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ซึ่งต้องได้รับการอนุมัติจากผู้ออกแบบเสมอ

1.5 แบบจริง (Asbuilt Drawings) คือ แบบที่ผู้รับเหมาจัดทำขึ้น เพื่อให้ตรงกับงานก่อสร้างจริงที่สร้างขึ้น

2. ประเภทตามเทคนิคสาขาวิชาชีพ

2.1 แบบทั่วไป (General Drawings) คือ แบบข้อกำหนดในการก่อสร้าง เช่น มาตรการความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

2.2 แบบสถาปัตยกรรม (Architectural Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์ แบบผังบริเวณ ผังพื้น รูปด้านรูปตัด แบบขยายบันได ห้องน้ำ และอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 แบบสถาปัตยกรรมภายใน (Interior Architecture Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์แบบตกแต่ง พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และอื่น ๆ

2.4 แบบภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape Architecture Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์การตกแต่งภายนอกอาคาร

2.5 แบบโครงสร้าง (Structural Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์ ผัง และแบบขยาย ฐานราก เสา คาน พื้น และอื่น ๆ

2.6 แบบงานระบบไฟฟ้า (Electrical System Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์ ผังและแบบขยายไฟฟ้ากำลัง ไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบสื่อสาร รวมถึงระบบเตือนภัย

2.7 แบบงานระบบสุขาภิบาล (Sanitary System Drawings) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์ ผังและแบบขยาย ระบบประปา ระบบระบายน้ำเสีย น้ำโสโครก น้ำฝน และระบบบำบัดน้ำเสีย

2.8 แบบงานระบบเครื่องกล ระบบปรับอากาศ และระบายอากาศ (Mechanical System, Air Conditioning System) คือ แบบแสดงสัญลักษณ์ ผังและแบบขยาย ระบบปรับอากาศ ระบบลิฟต์

ซึ่งแบบที่กล่าวข้างต้น ในการทำงานจริงจะใช้การนำเสนออยู่ 2 รูปแบบในการประสานงานระหว่าง เจ้าของ ที่ปรึกษา ผู้รับเหมา คือ แบบแปลนสองมิติ และ แบบแปลนสามมิติ ดังนี้

1. แบบแปลนสองมิติ

แบบแปลนสองมิติ เป็นรูปแบบที่เรียบง่าย จะแสดงเฉพาะความยาวและความกว้างเท่านั้น สามารถวัดได้ตามแกน X และ แกน Y จุดประสงค์ของการวาดภาพสองมิติ (2-D) มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายขนาดและรูปร่างของสิ่งของและอาจให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบวัสดุและข้อมูลอื่น

2. แบบแปลนสามมิติ

แบบแปลนสามมิติ เป็นแบบเสมือนจริงที่จำลองโครงสร้าง เช่น ความกว้าง ความสูง และความลึกของอาคารให้มีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด รวมทั้งงานตกแต่งงานภายในพร้อมทั้งงานภูมิทัศน์ภายนอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 การเปลี่ยนแปลงงาน

2.2.1 ความหมายการเปลี่ยนแปลงงาน

คำสั่งเปลี่ยนแปลง คืองานที่เพิ่มหรือลดออกจากของสัญญาเดิม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเงินตามสัญญาเดิม หรือมีการเปลี่ยนแปลงวันที่แล้วเสร็จโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ คำสั่งการเปลี่ยนแปลงแสดงถึงปัญหาของโครงการในรูปแบบของค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมหรือเวลาเพิ่มเติม หรือทั้งสองอย่าง

(Desai et al., 2015) หรืออาจกล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นการเบี่ยงเบนจากข้อตกลงตามขอบเขตและกำหนดการที่กำหนดไว้ (Osman ,2009)

การเปลี่ยนแปลงงาน หมายถึง สถานะ กระบวนการ หรือวิธีการที่เบี่ยงเบนไปจากแผนการก่อสร้างและข้อกำหนดเดิม อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลง และคำสั่งการเปลี่ยนแปลงจะถูกออกมาเพื่อแก้ไขขอบเขตหรือการออกแบบเดิม (Al-Nuaimi et al., 2010)

(Cox, 1997) อธิบายถึงคำจำกัดความของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงไว้ ดังนี้ 1) เป็นคำสั่งการเปลี่ยนแปลงที่เป็นทางการ ออกโดยลูกค้าซึ่งแก้ไขเงื่อนไขสัญญา แผน หรือข้อกำหนดเฉพาะ 2) คำสั่งการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นส่วนงานสัญญาเพิ่มเติมที่ดำเนินการตามคำสั่งของเจ้าของโครงการโดยวาจาหรือโดยนัย หรือเป็นผลมาจากปัญหาของเจ้าของโครงการ ซึ่งเจ้าของโครงการต้องรับผิดชอบ และ 3) คำสั่งเปลี่ยนแปลงที่สำคัญซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อใดก็ตามที่มีงานจำนวนมากที่จำเป็นต้องทำนอกขอบเขตของสัญญาเดิม

2.2.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงงาน

หลายปัจจัยอาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในโครงการก่อสร้าง ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดประการหนึ่งคือการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการออกแบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยภายใน ประกอบด้วยเจ้าของ ที่ปรึกษาการออกแบบ ที่ปรึกษาด้านการบริหารงานก่อสร้าง และผู้รับเหมา ในขณะที่ปัจจัยภายนอกเกี่ยวข้องกับการเมืองและเศรษฐกิจ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี

1. ปัจจัยภายใน เกิดจากฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายในโครงการก่อสร้าง เช่น เจ้าของโครงการ ที่ปรึกษาการออกแบบ ที่ปรึกษาการบริหารงานก่อสร้าง และผู้รับเหมา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเจ้าของโครงการ ได้แก่ คำแนะนำของเจ้าของโครงการในการปรับเปลี่ยนการออกแบบ เจ้าของโครงการล้มเหลวในการตัดสินใจหรือตรวจสอบเอกสารในเวลาที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงโครงการจัดหาเงินทุนจากเจ้าของโครงการ และข้อมูลที่เจ้าของโครงการให้ไว้ไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้อง (ขอบเขตของโครงการไม่ชัดเจน) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับที่ปรึกษาการออกแบบ ได้แก่ การไม่มีใบอนุญาตวิศวกรรมสำหรับวิศวกร ระยะเวลาในการออกแบบไม่เหมาะสม ความล้มเหลวของที่ปรึกษาในการให้ข้อมูลที่เพียงพอและชัดเจนในเอกสารการประกวดราคา ความผิดพลาดและการละเว้นที่ปรึกษา การเปลี่ยนแปลงตามคำร้องขอของที่ปรึกษา ที่ปรึกษาที่ไม่คุ้นเคยกับข้อบังคับและใบอนุญาตก่อสร้าง ค่าตอบแทนที่ปรึกษาต่ำ และการประสานงานที่ไม่ดีของสมาชิกในทีมออกแบบกับเจ้าของโครงการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับที่ปรึกษาการบริหารงานก่อสร้าง ได้แก่ ความล้มเหลวในการสื่อสารระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ขาดการตัดสินใจที่แม่นยำและรวดเร็ว ไม่มีการตรวจสอบและแก้ไขเอกสาร ขาดการวางแผนอย่างรอบคอบ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผู้รับเหมา ได้แก่ ความไม่เหมาะสมในการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดการก่อสร้าง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยผู้รับเหมา เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความสามารถในการก่อสร้าง และงบประมาณในการก่อสร้างต่ำเกินไป (Yana, H.A, & Wibowo, 2015)

2. ปัจจัยภายนอก คือปัจจัยหรือฝ่ายที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการก่อสร้าง แต่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการเมืองและเศรษฐกิจ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ปัจจัยที่เกี่ยวกับข้องกับการเมืองและเศรษฐกิจ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงนโยบายและกฎระเบียบ การเปลี่ยนแปลงของผู้มีอำนาจตัดสินใจ ผลของอัตราเงินเฟ้อและราคาที่ผันผวน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม ได้แก่ สภาพอากาศ ภัยพิบัติทางธรรมชาติ สภาพทางธรณีวิทยา และสภาพพื้นดินปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (Yana et al., 2015)

มีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงงานไว้ ดังนี้

(Al-Dubaisi, 2000) อธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงแผนโดยเจ้าของโครงการเป็นแหล่งที่มาหลักของคำสั่งการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนวัสดุหรือขั้นตอน และเป็นที่มาของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงข้อผิดพลาดและการละเว้นในการออกแบบ

(Hanna, Camlic, Peterson, & Lee, 2004) ได้ศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของคำสั่งเปลี่ยนแปลง คือการเพิ่มเติมการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ และการมีข้อผิดพลาดในการออกแบบ

(Ijaola & Iyagba, 2019) ระบุในการศึกษาของเขาว่า “งานเพิ่มเติมของลูกค้าและการปรับเปลี่ยนการออกแบบ” เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงทั้งในไนจีเรียและโอมาน

(Keane, Sertyesilisik, & Ross, 2010) นำเสนอสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงและคำสั่งเปลี่ยนแปลงในกลุ่มเป็นรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับเจ้าของโครงการ รูปแบบที่เกี่ยวข้องกับที่ปรึกษา รูปแบบที่เกี่ยวข้องกับผู้รับเหมา และรูปแบบอื่น ๆ เขาพบสาเหตุหลายประการของการเปลี่ยนแปลงผ่านกรณีศึกษา :ข้อผิดพลาดและการละเว้นรายละเอียดการออกแบบที่ไม่ชัดเจน การออกแบบที่ขาดรายละเอียด การเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ การประสานงานที่ขาดประสิทธิภาพ นอกจากนี้สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงงานจากผลการสำรวจแบบสอบถาม ได้แก่ ความขัดแย้งระหว่างเอกสารสัญญาการขาดการมีส่วนร่วมในการออกแบบ

(Alaryan et al., 2014) ได้ตรวจสอบคำสั่งการเปลี่ยนแปลงในโครงการก่อสร้างในคูเวตโดยการทำแบบสอบถามกับเจ้าของโครงการ ผู้รับเหมา และที่ปรึกษา เพื่อระบุสาเหตุหลักของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงผลกระทบต่อโครงการและมาตรการควบคุม สาเหตุที่พบบ่อยที่สุด 5 ประการของคำสั่งการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การเปลี่ยนแผนตามเจ้าของโครงการ การเปลี่ยนขอบเขตโครงการตามเจ้าของโครงการ ปัญหาในไซต์งาน ข้อผิดพลาดและการละเลยในการออกแบบ และรายละเอียดการออกแบบที่ไม่ดี

(Al-Nuaimi et al., 2010) ได้ตรวจสอบสาเหตุ ผลกระทบ ผลประโยชน์ และการแก้ไขคำสั่งการเปลี่ยนแปลงโครงการก่อสร้างสาธารณะในโอมาน โดยแบ่งสาเหตุของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็น สาเหตุที่เกี่ยวข้องกับลูกค้า สาเหตุที่เกี่ยวข้องกับที่ปรึกษา สาเหตุที่เกี่ยวข้องกับผู้รับเหมา และอื่น ๆ สรุปได้ว่างานเพิ่มเติมของลูกค้าและการปรับเปลี่ยนการออกแบบเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดคำสั่งเปลี่ยนแปลง รองลงมาเป็นสาเหตุจากคู่มือและขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่พร้อมใช้งาน

(Jawad, Abdulkader, & Ali, 2009) นำเสนอสาเหตุ ผลกระทบ และการควบคุมคำสั่งการเปลี่ยนแปลงในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ การศึกษาสรุปได้ว่าเจ้าของเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลง

(Homaid et al.2009) ได้ศึกษาต้นทุนโดยรวมของโครงการก่อสร้าง พบว่าต้นทุนมีการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย เนื่องจากคำสั่งการเปลี่ยนแปลงที่ 11.3% การวิจัยสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงขอบเขตโครงการเนื่องจากความต้องการของเจ้าของเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุด และการใช้จ่ายมากเกินไปเป็นผลกระทบที่สำคัญที่สุดของคำสั่งเปลี่ยนแปลงในโครงการเหล่านั้น

(Perkins, 2009) ตรวจสอบสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการก่อสร้างในการออกแบบก่อสร้างของเอกชน 23 โครงการ และโครงการออกแบบก่อสร้างของรัฐบาล 20 โครงการในสหรัฐอเมริกาพบว่าการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มหรือการลดงานโดยเจ้าของโครงการ การกระทำของบุคคลภายนอกที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของเจ้าของโครงการหรือผู้รับจ้าง ความล่าช้าในการเข้าถึงหรืออุปกรณ์ที่เจ้าของโครงการจัดหาให้ เงื่อนไขของไซต์ที่แตกต่างกัน และความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบที่กำหนดไว้

(Oladapo, 2007) ได้สำรวจความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นสาเหตุของการใช้จ่ายและการใช้เวลามากเกินไปในการสำรวจ การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดและขอบเขตที่เกิดจากเจ้าของโครงการและที่ปรึกษาเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงโครงการ

2.2.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงาน

มีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงานไว้ ดังนี้

(Desai et al., 2015) ได้ศึกษาผลกระทบของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงในการก่อสร้าง พบว่ามีผลกระทบอย่างมากต่อต้นทุน ตารางเวลา คุณภาพความปลอดภัย และผลผลิต ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวของโครงการ

(Diekmann & Nelson, 1985) ได้ตรวจสอบต้นทุนของคำสั่งเปลี่ยนแปลงในโครงการก่อสร้างของรัฐบาลกลาง 22 โครงการ พบว่าคำสั่งเปลี่ยนแปลงในโครงการเหล่านี้มีมูลค่าเฉลี่ย 5.5% ของมูลค่าสัญญา (Flemming,1990) ได้พบในการศึกษาของเขาว่าการเปลี่ยนแปลงในโครงการก่อสร้างอาจมีราคาระหว่าง 10-15% ของมูลค่าสัญญา

(Gerald, 2007) อธิบายถึงการตรวจสอบเชิงปริมาณเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อการผลิตงาน เปอร์เซ็นต์ของชั่วโมงทำงานที่ใช้ไปกับการเปลี่ยนแปลงนำไปสู่การสูญเสียผลผลิต 10-20%

(Ijaola & Iyagba, 2019) ได้ศึกษาผลกระทบที่สำคัญที่สุดของคำสั่งเปลี่ยนแปลงคือ “รูปแบบที่ส่งผลให้เกิดการเรียกร้องและข้อพิพาท” ในไนจีเรีย ในขณะที่ “ความล่าช้าในวันที่โครงการเสร็จสิ้นและการใช้จ่ายที่มากเกินไป” เป็นผลกระทบที่สำคัญที่สุดในโอมาน

(Alaryan et al., 2014) ได้ศึกษาผลกระทบที่พบบ่อยที่สุด 5 ประการของคำสั่งการเปลี่ยนแปลงคือการเพิ่มต้นทุนของโครงการ การเพิ่มระยะเวลาของกิจกรรมแต่ละอย่าง ความล่าช้าในการดำเนินการตามกำหนดการ เงินเพิ่มเติมสำหรับผู้รับเหมา และความล่าช้าในการชำระเงิน

(Al-Dubaisi, 2000) ได้ศึกษาและพบว่าการเพิ่มขึ้นของต้นทุนและระยะเวลาของโครงการเป็นผลกระทบหลักสองประการของคำสั่งการเปลี่ยนแปลง

(Ssegwa, 2004) ได้อธิบายว่าต้นทุนหลักที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคือค่าใช้จ่ายในการทำงานซ้ำหรือแก้ไขงานในโครงการก่อสร้าง อาจสูงถึง 10-15% ของมูลค่าสัญญา นอกจากผลกระทบโดยตรงแล้วการเปลี่ยนแปลงโครงการยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางอ้อมอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนและกำหนดการของโครงการในที่สุด

(Al-Nuaimi, 2013) ได้ตรวจสอบต้นทุนที่มากเกินในโครงการก่อสร้างสาธารณะในโอมาน นอกจากนี้เขายังระบุว่าพบการเปลี่ยนแปลงงบประมาณโดยเฉลี่ยในช่วงการออกแบบเท่ากับ 257.6% ขณะก่อสร้างอยู่ที่ 11.4% สิ่งนี้บ่งชี้ว่าต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสูงเกิดจากขั้นตอนการออกแบบ

(Aibinu & Jagboro, 2002) ได้ศึกษาคำสั่งเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงการก่อสร้างมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนและเวลาของโครงการ ในกรณีที่เลวร้ายที่สุดอาจทำให้เกิดความล่าช้า การละทิ้งโครงการ และเกิดข้อพิพาทในที่สุด

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ผลกระทบของคำสั่งเปลี่ยนแปลงในแต่ละโครงการสามารถเกิดขึ้นได้หลายประการ ได้แก่ กำหนดเวลาล่วงเลย ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น การเกิดข้อพิพาทระหว่างคู่สัญญา ความล่าช้าในการชำระเงิน การร้องเรียนของฝ่ายหนึ่งหรือหลายฝ่ายในการติดต่อ การลดมาตรฐานคุณภาพงาน และผลผลิตที่ลดลง

2.2.4 การบริการจัดการการเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้าง

การบริการจัดการการเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้าง ประการแรกพยายามคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ ระบุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแล้ว วางแผนมาตรการป้องกัน และประสานงานให้ทีมรับรู้การเปลี่ยนแปลงในโครงการทั้งหมด การแก้ไขงานเล็กน้อยอาจไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นทางการ หากไม่ได้ส่งผลกระทบต่อโครงการ อย่างไรก็ตามการ

เปลี่ยนแปลงที่มีผลกระทบชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นการทำงานซ้ำหรือเกิดคำสั่งเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ต้องทำตามกระบวนการในการจัดการการเปลี่ยนแปลง รูปแบบกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงทั่วไปมี 5 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

1. ระบุการเปลี่ยนแปลง : ขั้นตอนนี้ต้องการระบบการจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างความเชื่อมโยงของข้อกำหนด ความผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงด้านอื่น อาจพบว่าระบบการจัดการการเปลี่ยนแปลงทั่วไปจะไม่รวมขั้นตอนการระบุการเปลี่ยนแปลงเอาไว้ และเริ่มต้นด้วยกระบวนการประเมินการเปลี่ยนแปลง และการเสนอ

2. การประเมินและเสนอการเปลี่ยนแปลง : การประเมินจะคำนวณผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีการระบุการเปลี่ยนแปลง อาจมีผลต่อกระบวนการอื่น และทีมก่อสร้าง ในแง่ของเวลาและต้นทุน จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเลือกการเปลี่ยนแปลง เพื่อการตัดสินใจไม่ว่าจะดำเนินการกับตัวเลือกการเปลี่ยนแปลงใด หรืออาจดำเนินการตรวจสอบเพิ่มเติม ผลลัพธ์ของการประเมินคือคำสั่งการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงงานที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแผนปฏิบัติงานใหม่ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น กำหนดเวลาที่ต้องขยายออกไป ฯลฯ

3. การอนุมัติการเปลี่ยนแปลง : การเปลี่ยนแปลงที่ระบุแต่ละครั้งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการอนุมัติอย่างเป็นทางการ มีกระบวนการอนุมัติที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสำหรับการเปลี่ยนแปลงและสัญญาก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

4. ดำเนินการเปลี่ยนแปลง รูปแบบกระบวนการจัดการการเปลี่ยนแปลงกำหนดให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องต้องเก็บบันทึกข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง เพื่อสร้างฐานข้อมูลสำหรับใช้งานต่อไป ในระหว่างขั้นตอนการดำเนินการเปลี่ยนแปลง จำเป็นต้องมีระบบการปฏิบัติงาน เพื่อให้แน่ใจว่าทุกฝ่ายของทีมก่อสร้างได้รับแจ้งการเปลี่ยนแปลงโครงการและงานทั้งหมดดำเนินไปอย่างถูกต้อง มีการประสานงานที่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพของระบบจะได้รับการทบทวนตามข้อมูลที่รวบรวมระหว่างขั้นตอนการดำเนินการเปลี่ยนแปลง

2.3 เทคโนโลยีที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงงาน

2.3.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM)

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือ BIM (Building Information Modeling) เป็นกระบวนการรวบรวมและบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่ การออกแบบไปจนถึงการก่อสร้างและใช้งานอาคาร โดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ (Software) ที่ถูกพัฒนาขึ้นในลักษณะของการสร้างแบบจำลองอาคาร (Building model) พร้อมข้อมูลสารสนเทศ (Information) ที่สอดคล้องกับกระบวนการทำงานจริง (กวีไกร ศรีหิรัญ, 2563)

Building Information Modeling (BIM) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาในขึ้นในวงการก่อสร้างตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงการจัดการอาคาร ระบบจำลองข้อมูลการก่อสร้างที่รวบรวมข้อมูลข้อมูลเชิงกายภาพ คือกว้าง ยาว และสูง และข้อมูลเชิงอื่น เช่น การออกแบบ ระยะเวลาทำการก่อสร้างและการประมาณราคา ซึ่งเป็นมิติที่เพิ่มเติมขึ้นมาอีก โดยจะสามารถดึงเอาข้อมูลออกมาจากระบบในรูปของปริมาณวัสดุ ลำดับการก่อสร้าง และข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการก่อสร้างได้ และในปัจจุบัน BIM ถูกมองว่าเป็นกระบวนการแบบบูรณาการที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง สามารถสำรวจลักษณะทางกายภาพและการทำงานที่สำคัญของโครงการในรูปแบบสามมิติได้ก่อนที่การก่อสร้างจะเริ่ม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีการทำการณีศึกษามากมายเกี่ยวกับการใช้งานและข้อดีของ BIM นักวิจัยหลายคนแนะนำว่า BIM เป็นแพลตฟอร์มที่อำนวยความสะดวกในการสร้างและแบ่งปันข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การก่อสร้างและการบำรุงรักษาอาคารตลอดอายุการใช้งานทั้งหมด (Popov, Juocevicius, Migilinskas, Ustinovichius, & Mikalauskas, 2010) ในปัจจุบันมีหลายบริษัทได้มีการประดิษฐ์เครื่องมือต่าง ๆ เพื่อใช้งานในแต่ละประเภทของการใช้งานของ BIM

ประโยชน์ของ BIM มีดังนี้

1) ด้านการออกแบบและการนำเสนอ (Design & Visualization)

ในกระบวนการออกแบบและนำเสนองาน BIM จะช่วยลดการทำงานที่ซับซ้อนและสามารถทำงานออกแบบไปพร้อม ๆ กับการตรวจสอบข้อมูลด้วย เช่น เมื่อมีการเขียนห้องขึ้นมาสักห้องหนึ่ง เราสามารถทำการตรวจสอบพื้นที่ของห้องและปริมาตรของห้องนั้นไปได้พร้อม ๆ กัน กับการเขียน และเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขอบเขตของห้อง พื้นที่และปริมาตรของห้องนั้น ๆ ก็จะทำการเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นเราสามารถทำงานออกแบบ (Design) นำเสนอ (Visualize) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis) ได้ไปพร้อม ๆ กันบนระบบการทำงานของ BIM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ด้านการประสานงาน (Coordination)

การใช้ BIM ในด้านการประสานแบบร่วมกันระหว่างงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง งานระบบ งานตกแต่งภายใน งานภูมิสถาปัตย์ ด้วยการสร้างโมเดลของส่วนงานต่าง ๆ ขึ้นมา แล้วนำมาประสานรวมกันทำให้เห็นข้อบกพร่อง ผิดพลาด และไม่สัมพันธ์กันของการออกแบบงานของแต่ละฝ่าย ทำให้สามารถลดผลกระทบอันเกิดจากความถูกต้องและข้อขัดแย้งเหล่านี้ได้ง่ายก่อนที่ปัญหาเหล่านี้จะเกิดขึ้นที่งานก่อสร้างจริง

3) ด้านการจำลอง (Simulation)

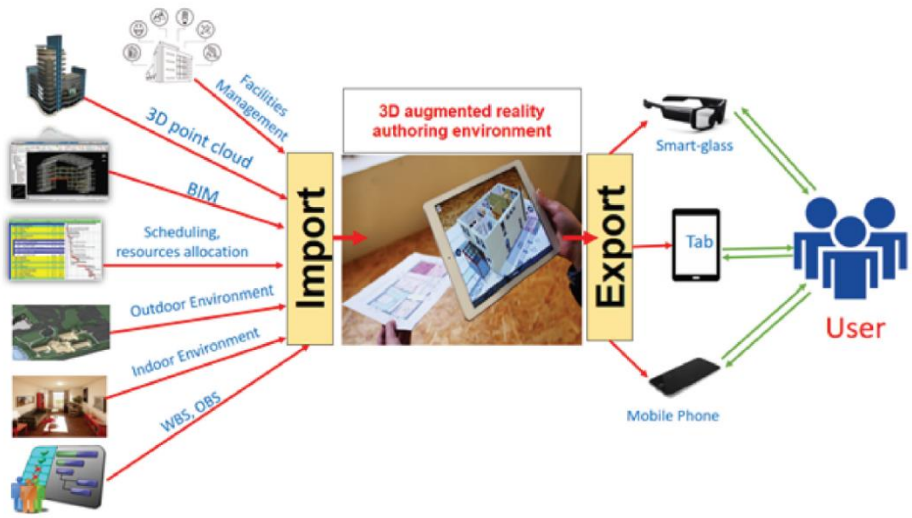
การทำงานบน BIM นั้นเป็นประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้อันเนื่องมาจากภายในโมเดลที่เราสร้างขึ้นนั้น จะมีข้อมูลฝังอยู่ภายในตัวโมเดลที่สร้าง จึงทำให้เราสามารถทำการ Simulation จำลองภาพของผลงานออกแบบแสดงออกมาในลักษณะต่าง ๆ เช่นการRender เพื่อดูสภาพของแสงสว่างภายในห้อง หรือ

จะเป็นการจำลองโมเดลของการก่อสร้างที่สัมพันธ์กันกับเวลาของการก่อสร้าง ตลอดจนการวิเคราะห์ค่าพลังงาน และการวิเคราะห์โครงสร้าง

ได้มีศึกษาการเลือกใช้ BIM สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างใน ประเทศไทย พบว่าการเลือกใช้ BIM เกิดจากความต้องการลดข้อผิดพลาด และลดรายการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง โดยทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะได้รับ ประโยชน์ร่วมกัน อาทิ ทำให้การประสานงานเฉพาะหน้าลดลงเนื่องจาก ความชัดเจนของแบบก่อสร้างที่มากขึ้น นอกจากนี้พบว่า BIM สามารถลดเวลาในการเขียนแบบน้อยลง ทำให้สามารถใช้เวลาที่เหลือสร้างสรรค์ ออกแบบสิ่งก่อสร้างได้มากขึ้น และในการทำงานมีการร้องขอข้อมูลเพิ่ม น้อยลงเพราะความชัดเจนของแบบก่อสร้าง นอกจากนี้ยังสามารถลด งบประมาณและประหยัดเวลาก่อสร้างได้อีกด้วย (ธนัชชา สุขขี, 2554)

2.3.2 Augmented Reality (AR)

Augmented Reality (AR) เป็นการนำเทคโนโลยีมาผสานระหว่างโลกแห่งความเป็นจริงและความเสมือนจริงเข้าด้วยกัน โดยผ่านอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์รวมกับการใช้ซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้การซ้อนทับแบบดิจิทัลของข้อมูล ไปยังมุมมองของผู้ใช้โดยจัดแนวพื้นที่กับสภาพแวดล้อมทางกายภาพในปัจจุบัน มุมมองของผู้ใช้มักเป็นภาพจากกล้อง ซึ่งภาพถูกเสริมด้วยข้อมูลดิจิทัลและแสดงผลบนอุปกรณ์แสดงผลซึ่งอาจจะเป็นจอแสดงผลแบบสวมศีรษะหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ การซ้อนทับดังกล่าวช่วยให้สามารถนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานเฉพาะบนไซต์งานได้โดยตรงและสอดคล้องกับวัตถุที่สนใจ (Lee & Akin, 2011)



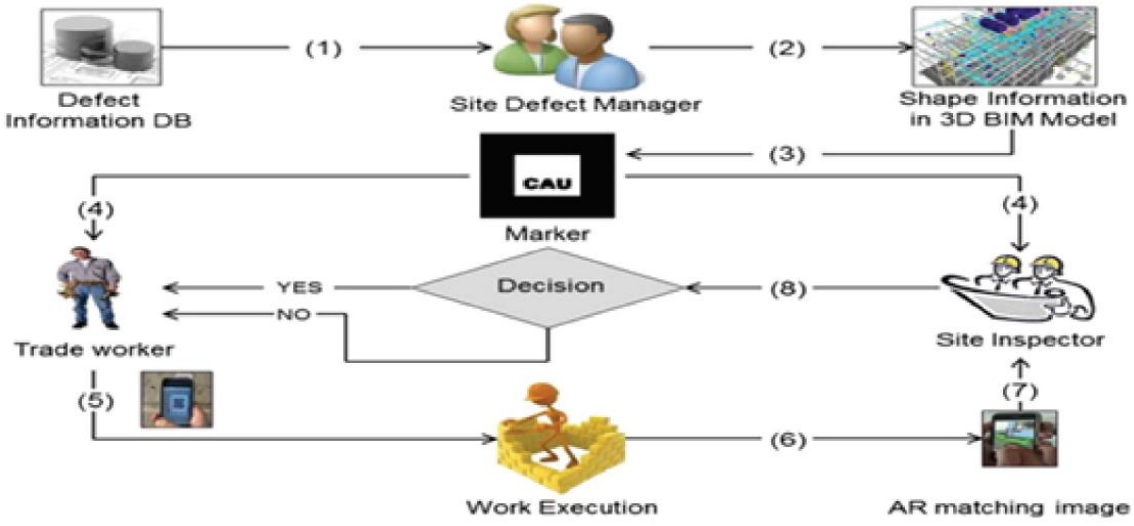
รูปที่ 2.1 กระบวนการใช้งาน AR

AR ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

(Golparvar-Fard, Pena-Mora, & Savarese, 2009) ได้นำเสนอระบบ AR ที่ตรวจสอบความคืบหน้าโดยอัตโนมัติเพื่อระบุกิจกรรมของงานก่อสร้างว่าเร็วกว่าแผนงานหรือช้ากว่ากำหนด และ (Zhou, Luo, & Yang, 2017) ได้ทำการศึกษา AR เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบงานการก่อสร้างอุโมงค์ในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง โดยใช้แบบจำลองเทียบกับงานที่ก่อสร้างจริงโดยวัดความแตกต่าง

AR ยังสามารถใช้เพื่อสนับสนุนผู้ควบคุมเครื่องจักร (Chen, Chi, Kang, & Hsieh, 2011) ได้นำเสนอระบบ AR เพื่อช่วยเหลือผู้ควบคุมเครนเพื่อเพิ่มความปลอดภัย โดยการแนะนำเส้นทางการเคลื่อนไหวและการจัดเตรียมคำเตือนเพื่อหลีกเลี่ยงการปะทะกันโดยเส้นทางสำหรับการเคลื่อนย้ายของรถเครนได้รับการตรวจสอบเป็นอย่างดี

(Kwon, Park, & Lim, 2014) ได้ศึกษากระบวนการของเทคโนโลยี AR ที่ใช้ Marker-Based สำหรับชี้ข้อบกพร่องและการตรวจสอบคุณภาพ โดยพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการระบุและแก้ไขข้อบกพร่อง ซึ่งระยะเวลาการก่อสร้างและระยะเวลาการบำรุงรักษาสามารถตรวจสอบได้โดยเทคโนโลยี AR



รูปที่ 2.2 Process of defect management by AR (Kwon et al., 2014)

2.3.3 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality หรือ VR คือการจำลองสภาพแวดล้อมจริงและสภาพแวดล้อมจากจินตนาการ เช่น วิดีโอ ภาพ เสียง ผ่านระบบเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โดยต้องใช้งานผ่านอุปกรณ์นำเข้าต่าง ๆ เช่น ถุงมือ เมาส์ แว่นตา เป็นต้น เพื่อรับรู้ถึงแรงป้อนกลับจากการสัมผัสสิ่งต่าง ๆ และ

ทำให้เราสามารถตอบสนองกับสิ่งที่จำลองนั้นได้ โดยเราสามารถนำเทคโนโลยี VR มาประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ (การฝึกผ่าตัดแบบเสมือนจริง) การทำเครื่อง VR เพื่อฝึกบินเชิง simulation ทางการศึกษา ด้านการบันเทิง เกมส์ ทางด้านธุรกิจ ทางด้านวิศวกรรมเป็นต้น

ในปัจจุบันหากแบ่งประเภทของเทคโนโลยีการจำลองเสมือนจริง ตามลักษณะการตอบสนองการใช้งานแก่ผู้ใช้จะแบ่งได้ทั้งหมด 5 ประเภท คือ

1) เทคโนโลยีการจาลองเสมือนจริงแสดงผลผ่านทางจอมอนิเตอร์ หรือ Desktop VR หรือ Window on a World (WoW)

2) Video Mapping คือการผสมผสานระหว่างภาพเคลื่อนไหว และวัตถุที่เป็นฉากรับภาพ เพื่อให้เกิดสภาพพื้นผิวของวัตถุนั้น พร้อมกับเห็นมิติของวัตถุ

3) Immersive Systems เป็นระบบ VR ที่สมบูรณ์ที่สุด ณ ปัจจุบัน เพื่อการใช้งานแบบส่วนบุคคล ซึ่งระบบนี้จะรวมอยู่ในอุปกรณ์สวมศีรษะ หรือ Head-Mounted Display (HMD) ที่จะแสดงภาพ และเสียงของสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่สร้างขึ้น

4) Telepresence เป็นระบบเสมือนจริงที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับระยะไกล ที่จะส่งสัญญาณภาพ เสียงมายังผู้ใช้งานที่อยู่อีกสถานที่หนึ่ง เช่นการใช้หุ่นยนต์ หรือพาหนะควบคุมระยะไกล เป็นต้น

5) Augmented หรือ Mixed Reality Systems คือการรวมกัน ระหว่าง Telepresence กับ Virtual Reality System เพื่อสร้างภาพเสมือนจริงให้กับผู้ใช้งาน โดยให้คอมพิวเตอร์สร้างภาพเสมือนจริงที่สร้างไว้เข้ากับข้อมูลจาก Telepresence ที่ได้รับมา เช่น การแสดงภาพเสมือนจริงของสมองคนไข้ ให้แก่ศัลยแพทย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

VR ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

(Juan et al., 2018) ได้ศึกษาการนำ VR ไปใช้กับระบบที่อยู่อาศัยก่อนการขาย ซึ่งมีแนวโน้มที่ดีเนื่องจากแนวคิดของการขายล่วงหน้าหมายถึงเป็นกลยุทธ์ที่นำมาใช้โดยนักพัฒนาที่ขายที่อยู่อาศัยผ่านข้อตกลงที่ยังไม่ได้รับสร้าง VR ในขั้นตอนนี้อาจเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการสื่อสารด้วยภาพในแบบจริงต่อสเกลสิ่งแวดล้อม

(Berg & Vance, 2016) ได้ประเมินผลของการใช้ VR สำหรับการตรวจสอบการออกแบบโดยการศึกษาร่วมกับวิศวกรการผลิตเพื่อดำเนินการตรวจสอบการออกแบบในสภาพแวดล้อม VR แบบฉายภาพระบบช่วยให้ผู้เข้าร่วมสามารถดูและโต้ตอบกับรูปทรงเรขาคณิตในระดับจริง ผู้เขียนรายงานว่าผู้เข้าร่วมได้รับความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ที่จำเป็นในการประกอบผลิตภัณฑ์

(Dunston, Arns, & McGlothlin, 2007) นำเสนอระบบ VR สำหรับการทบทวนการออกแบบห้องพักผู้ป่วยในโรงพยาบาล ผู้เขียนระบุว่าการทบทวนการออกแบบที่เปิดใช้งาน VR ช่วยปรับปรุงการโต้ตอบและมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการออกแบบมากขึ้น

(Hilfert, Teizer, & König, 2016) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองโครงการก่อสร้างด้วยการใช้เทคโนโลยี VR สามารถสร้างแบบจำลองโครงการเสมือนจริงที่ให้ความรู้สึกเหมือนอยู่ในโลกแห่งความเป็นจริงก่อนที่โครงการจะเริ่มขึ้นจริง การแสดงรูปแบบโครงการประกอบด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำได้และเทคโนโลยี VR ช่วยให้บุคคลภายนอกสามารถเยี่ยมชมโครงการทั้งหมดได้ทั้งภายในและภายนอกด้วยมิติใหม่ของความรู้สึกในโลกแห่งความเป็นจริงและ VR ใช้ในขั้นตอนการวางแผนเพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิผลตามความต้องการของเวลา นอกจากนี้ยังช่วยที่ปรึกษาและผู้รับเหมาในการออกแบบโครงการที่สามารถสร้างได้ หลังจากช่วงเวลาการก่อสร้างเทคโนโลยี VR ช่วยลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาและการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก

รูปที่ 2.3 การสร้างภาพแบบจำลองโครงการก่อนเริ่มงานจริง (Hilfert et al., 2016)

2.4 Head Mounted Display (HMD)

Head Mount Display (HMD) หรือจอแสดงผลแบบสวมศีรษะ คือ อุปกรณ์แสดงผลแบบสามมิติที่ใช้หลักการมองของดวงตามนุษย์ที่ทั้งสองข้างจะมองภาพแบบเหลี่ยมกันเพื่อสร้างภาพสามมิติขึ้น โดยอุปกรณ์นี้จะมีจอแสดงผลแบ่งออกเป็นสองส่วนสำหรับตาทั้งสองข้างและภาพที่แสดงนั้นจะจำลองการมองที่มีองศาต่างกันเพื่อทาให้ผู้ใช้งานมองเห็นภาพที่แสดงเป็นสามมิติเหมือนมองวัตถุ

จริง นอกจากจะแสดงภาพได้แล้วยังสามารถเพิ่มอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อแสดงทิศทางการมองเห็นในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงให้สอดคล้องกับทิศทางการมองของผู้ใช้งาน

ซึ่ง Head Mounted Display (HMD) จะแบ่งออกได้สองประเภทตามการใช้งาน ดังนี้

1. แบบทำงานได้ด้วยตัวเอง คือ มีหน่วยประมวลผล จอแสดงผล อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ในตัวเองสามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้โดยไม่ต้องต่อพ่วงอุปกรณ์เพิ่มเติม

2. แบบมีเฉพาะจอแสดงผล และอุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ซึ่งนั้นหมายถึงจำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผล หรือคอมพิวเตอร์ภายนอกมาช่วยในการใช้งาน

โดยทั้งหมดนี้การที่จะสร้างสภาพแวดล้อมจาลองเสมือนจริงโดยใช้ Head Mount Display เพื่อให้ได้ประสบการณ์การใช้งานที่ดีต้องใช้เทคโนโลยีที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์นี้ ได้แก่

1) การแสดงผล หรือหน้าจอ

จอแสดงผลเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของ HMD ซึ่งเป็นส่วนที่ส่งภาพให้แก่ผู้ใช้งานโดยในปัจจุบันมีการใช้จอแบบ Liquid Crystal Display หรือ จอ LCD ซึ่งเป็นจอแบบเดียวกับโทรทัศน์ และสมาร์ทโฟนทั่วไป รวมถึงเริ่มมีการใช้จอแบบ Organic Light-Emitting Diode หรือ จอ OLED มาใช้ในอุปกรณ์นี้ด้วย

2) อัตราการแสดงผลภาพ

อัตราการแสดงผลภาพ คือ ความเร็วที่หน้าจอสามารถเปลี่ยนภาพได้ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยทั่วไปจะเทียบต่อหนึ่งวินาที ซึ่งจอ LCD ทั่วไปสามารถทาได้ 60 ครั้งต่อวินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพยนตร์ทั่วไปจะมีอัตราการแสดงผลอยู่ที่ 24 ครั้งต่อวินาที ซึ่งก็มีความราบรื่นของภาพเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว แต่เมื่อต้องการความสมจริงของการแสดงผลภาพสาหรับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ต้องมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น อัตราการแสดงผลที่ 60 ครั้งต่อวินาทีอาจจะเป็นเพียงขั้นต่ำไปแล้ว จึงเริ่มมีการใช้จอที่มีความสามารถให้อัตราการแสดงผลภาพถึง 120 ครั้งต่อวินาทีมาใช้ใน HMD

3) ความเร็วในการตอบสนอง

ความเร็วในการตอบสนอง คือ ช่วงเวลาในการตอบสนองระหว่างการนาข้อมูลเข้า กับการแสดงผล หมายความว่าเมื่อผู้ใช้เปลี่ยนทิศทางของศีรษะ ภาพที่แสดงผลอยู่จะเปลี่ยนตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ถ้าความเร็วในการตอบสนองเร็วจะทาให้การใช้งานราบรื่น และไม่เกิดความรู้สึกติดขัดขณะใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) เลนส์

เลนส์ใน HMD จะช่วยให้การแสดงผลดีขึ้น โดยการลดช่องว่างในช่องมองภาพให้ผู้ใช้งานเห็นภาพได้เต็มพื้นที่มากขึ้น โดยไม่มีขอบดารบกวน สาหรับมุมมอง หรือ Front of View มีค่าระหว่าง 90 ถึง 100 องศา จะเป็นค่าที่ดีที่สุดในการใช้งาน HMD

5) การจับความเคลื่อนไหว

การจับความเคลื่อนไหว มีสองแบบหลัก คือ การจับความเคลื่อนไหวของศีรษะ และการจับความเคลื่อนไหวของดวงตา โดยมีรายละเอียดดังนี้

การจับความเคลื่อนไหวของศีรษะ จะเป็นการตรวจสอบตำแหน่งและทิศทางของผู้ใช้งาน โดยใช้เครื่องวัดความเร่งแบบหลายแกน ทั้ง Gyroscope และ Accelerometer ซึ่งทั้งสองนี้มีอยู่ในสมาร์ทโฟนรุ่นใหม่ และสามารถนามาประยุกต์ใช้กับ HMD ได้ ซึ่งการจับความเคลื่อนไหวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ภาพที่แสดงผลอยู่ปรับทิศทางและตำแหน่งตามการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน

การจับความเคลื่อนไหวดวงตา เป็นการจับทิศทางการมองของผู้ใช้งาน แล้วแสดงภาพตามทิศทางของดวงตา ซึ่งต่างจากการจับความเคลื่อนไหวทั้งศีรษะ แต่เทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในช่วงพัฒนายังไม่สามารถบอกได้ว่าจะช่วยให้การใช้งานดีขึ้นหรือไม่

6) ลำโพง หรือหูฟัง

การใช้ลำโพง หรือหูฟังที่ให้เสียงได้แบบรอบทิศทางร่วมกับการใช้ HMD จะช่วยให้ผู้ใช้งานรู้สึกเมื่ออยู่ในโลกเสมือนจริงมากขึ้น

7) คอมพิวเตอร์ หรือหน่วยประมวลผล

การประมวลผลต่าง ๆ สามารถใช้คอมพิวเตอร์ หรือสมาร์ทโฟนมาใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงได้ แต่ด้วยความสามารถในการประมวลผลของสมาร์ทโฟนในปัจจุบันยังคงเป็นรองคอมพิวเตอร์อยู่พอสมควร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.4 HTC VIVE (https://www.vive.com/sea/)

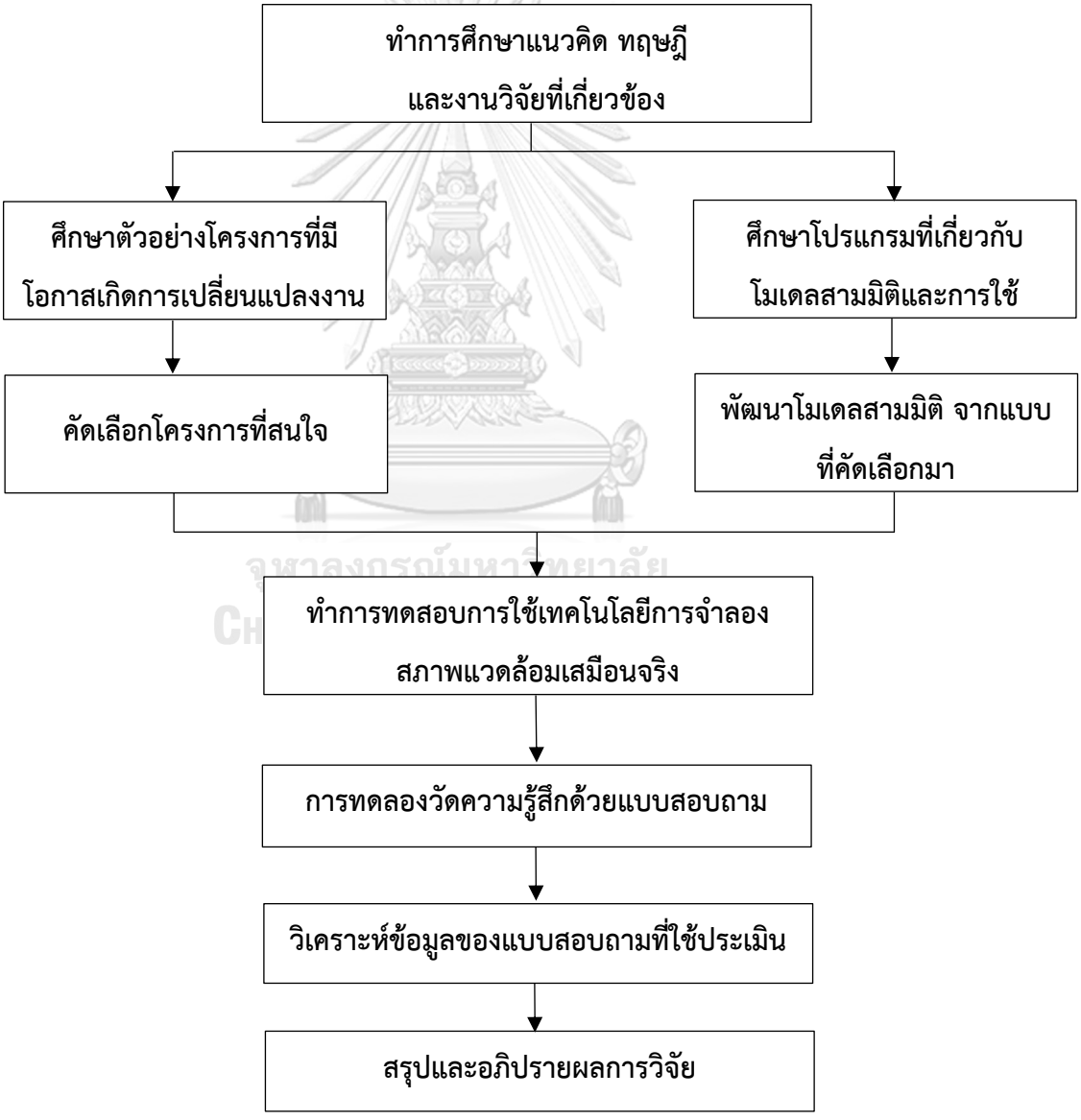
2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ทำให้ทราบว่าในงานก่อสร้างตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีปัญหาการเปลี่ยนแปลงงานเกิดขึ้นบ่อยครั้งในแต่ละโครงการ ซึ่งอยู่ในขั้นตอนที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอยู่หรือดำเนินก่อสร้างเสร็จแล้ว โดยผลกระทบที่เกิดเป็นความเสียหายทั้งด้านต้นทุนและเวลา จากการศึกษางานวิจัยพบว่าสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงงานเกิดขึ้นเนื่องจากเจ้าของขาดความเข้าใจแบบก่อสร้าง 2 มิติ จึงทำให้ก่อสร้างไปแล้วไม่เป็นดังที่คาดหวัง ทำให้ตัวเลือกในการใช้เทคโนโลยี VR เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจเพราะเป็นเครื่องมือที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นภาพเสมือนจริงและให้ความรู้สึกที่แท้จริงได้ นอกจากนี้การศึกษางานวิจัยพบว่า VR ยังถูกนำมาใช้งานในด้านการก่อสร้างด้วย ทั้งในด้านของการจำลองภาพเสมือนก่อนการก่อสร้าง ด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างและในด้านอื่น ๆ อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment : VE) เพื่อลดปัญหาของการเปลี่ยนแปลงคำสั่งในโครงการก่อสร้าง สมมติฐานของการวิจัยนี้คือความรู้สึกของผู้ใช้ที่วัดโดยการใช้ VE application ไม่แตกต่างจากสถานการณ์จริง สมมติฐานถูกทดสอบโดยแบบสอบถามที่เปรียบเทียบระหว่างความรู้สึกของการใช้ VE application กับสถานการณ์จริง โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานศึกษาวิจัย ดังแสดงในภาพ



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานศึกษาวิจัย

โดยมีรายละเอียดในการดำเนินวิจัยดังนี้

3.1 ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษารวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงงานในการก่อสร้าง เช่น นิยาม สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงงาน ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงงาน ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงงาน และงานวิจัยการเกี่ยวกับโปรแกรมการพัฒนาแบบแปลนสามมิติโดยใช้เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Visual Environment)

3.2 การคัดเลือกแบบแปลนเพื่อนำมาวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่โครงการก่อสร้างที่ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ ซึ่งมีแนวโน้มว่าอาจจะมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงงาน หรืออาจพบปัญหาเรื่องขนาดของสิ่งก่อสร้างที่ไม่ตรงกับความคาดหวังของเจ้าของงาน ซึ่งผู้วิจัยได้การทำคัดเลือกโครงการที่มีแนวโน้มเกิดปัญหาดังกล่าวมาเป็นตัวอย่างในการวิจัย 2 โครงการ

3.3 การพัฒนาแบบแปลนเพื่อทำการทดสอบ

การพัฒนาแบบก่อสร้างที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ แบบแปลนสามมิติ และการประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

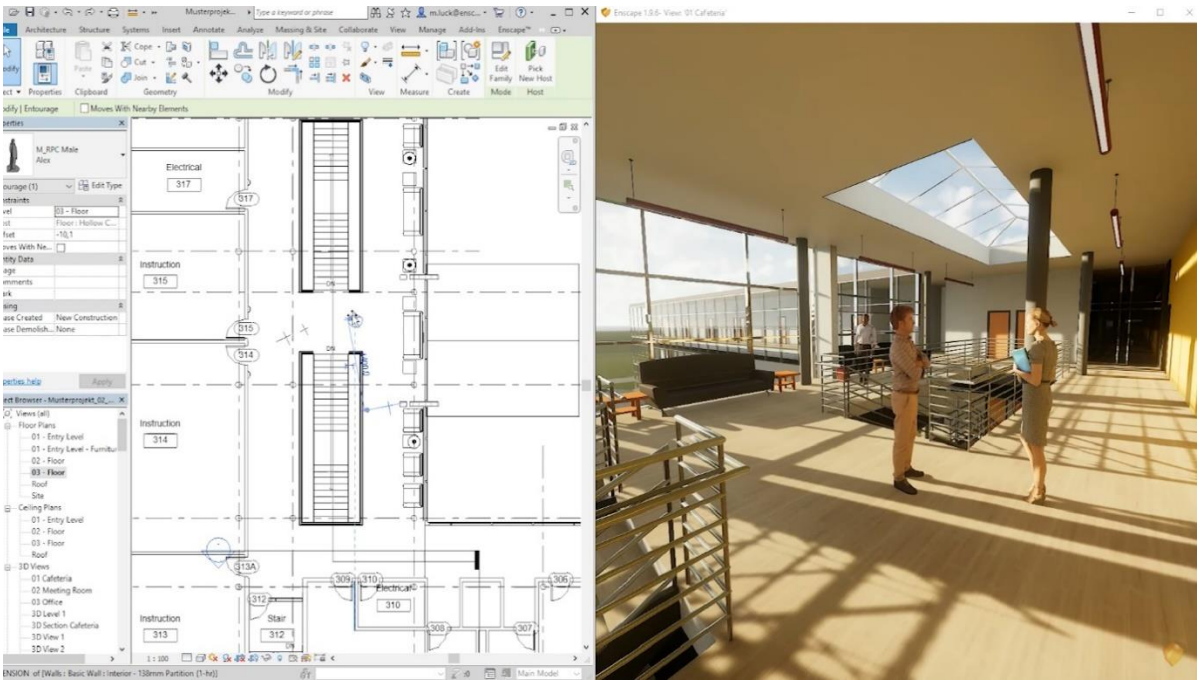
3.3.1 การพัฒนาแบบแปลนสามมิติ

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2021 ในการพัฒนาแบบแปลนสามมิติ โดยนำแบบสองมิติจากโครงการที่คัดเลือกไว้ มาสร้างโมเดลสามมิติ เพื่อนำไปใช้สร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Visual Environment)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Enscape ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริมที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้งานควบคู่กับ Autodesk Revit 2021



รูปที่ 3.2 แสดงแบบแปลนก่อสร้างเปรียบเทียบกับการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

3.4 เครื่องมือที่ทางสถิติใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการวัดความรู้สึก โดยใช้การตอบสนองความรู้สึกของผู้ใช้ใน 3 กรณีศึกษา ได้แก่ ห้องพัก โถงบันไดและห้องทำงาน ในโครงการก่อสร้างอาคารที่กำลังก่อสร้างอยู่ หรือยังก่อสร้างไม่เสร็จสิ้น ซึ่งมีโอกาสที่จะแก้ไขเปลี่ยนแปลงแบบ เจ้าของโครงมีความต้องการเปลี่ยนแปลงงานในอนาคต แต่จะทำให้ต้นทุนโครงการเพิ่มขึ้น ผู้ได้รับการทดสอบความรู้สึกโดยใช้ Head Mount Display ที่เชื่อมต่อกับโปรแกรม Enscape สำหรับการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment) เปรียบเทียบกับความรู้สึกในสถานการณ์จริงในสถานที่ก่อสร้าง แบบสอบถามถูกนำไปใช้เพื่อวัดความรู้สึกของผู้ตอบแบบสอบถาม

3.4.1 สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคใช้สำหรับการวัดความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามสูตรการวัดความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม มีดังนี้

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left\{\frac{1-\sum Si^2}{St^2}\right\}$$

โดย α แทน สัมประสิทธิ์ของความเชื่อถือได้

K แทน จำนวนข้อทั้งหมด

Si^2 แทน ผลรวมความแปรปรวนแต่ละข้อ

St^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวม

การวัดความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามนำไปทดลองใช้กับกลุ่มทดสอบก่อนที่จะนำไปใช้เก็บข้อมูลจริง เพื่อเข้าสู่วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Alpha Coefficient Reliability) เป็นการหาความเชื่อมั่นโดยการทดสอบว่าแบบสอบถามแต่ละข้อมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันหรือไม่ Nunnally กล่าวว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมากกว่า 0.70 ถือว่าแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นมีความน่าเชื่อถือ (Nunnally, 1967)

3.4.2 การกำหนดประชากร

ในงานวิจัยนี้ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ เจ้าของงาน ที่ปรึกษาโครงการ และผู้รับเหมาที่เกี่ยวข้องกับโครงการที่คัดเลือก โดยงานวิจัยนี้เน้นกลุ่มโครงการก่อสร้างอาคารสูงและการก่อสร้างอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประกอบกับข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมือที่ทดสอบได้เพียงครั้งละ 1 คน ดังนั้นเพื่อให้เหมาะสมกับเวลาจึงไม่อาจใช้การคำนวณเพื่อกำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้เป็นตัวแทนของประชากรได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาจำนวน 20 คน

3.4.3 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลโดยการทดลองวัดความรู้สึกของผู้ตอบแบบสอบถามระหว่างความรู้สึกในสถานการณ์จริงกับความรู้สึกในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่แสดงใน Head Mounted Display คำถามในแบบสอบถามคือระดับคะแนนที่มีความรู้สึก 5 ระดับเช่นความรู้สึกกว้าง แคบ สูง ต่ำ ความปลอดภัยในแต่ละกรณี ผู้ใช้จะตอบสนองระดับความรู้สึกตั้งแต่ 1 ถึง 5 ระดับ

สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ห้องพัก แบ่งเป็น 4 จุดทดลอง 1) ห้องพัก 2) ระเบียง 3) ห้องอาบน้ำ 4) ห้องส้วม โดยทุกจุดจะใช้คำถามชุดเดียวกันคือ สอบถามความรู้สึกถึงความสูงและขนาดความกว้างในความเหมาะสมต่อการใช้งานของแต่ละห้อง โดยมีตัวเลือกและลำดับคะแนนดังนี้

ความกว้าง		ความสูง	
กว้างมาก	5 คะแนน	สูงมาก	5 คะแนน
กว้าง	4 คะแนน	สูง	4 คะแนน

ธรรมดา	3 คะแนน	ธรรมดา	3 คะแนน
แคบ	2 คะแนน	เตี้ย	2 คะแนน
แคบมาก	1 คะแนน	เตี้ยมาก	1 คะแนน

สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 บันไดหนีไฟ แบ่งเป็น 4 จุดทดลอง 1) ราวบันไดบริเวณชั้น 7, 2) ราวบันไดบริเวณชั้น 6, 3) ราวบันไดบริเวณชั้น 5, 4) ราวบันไดบริเวณชั้น 4 โดยทุกจุดจะใช้คำถามชุดเดียวกันคือ สอบถามความรู้สึกถึงความสูงของราวบันไดต่อความปลอดภัยในการใช้งาน และคำถามถึงรูปแบบของราวบันไดต่อความรู้สึกปลอดภัยในการใช้งาน โดยมีตัวเลือกและลำดับคะแนนดังนี้

ความสูงของราวบันได		รูปแบบของราวบันได	
ปลอดภัยมาก	5 คะแนน	ปลอดภัยมาก	5 คะแนน
ปลอดภัย	4 คะแนน	ปลอดภัย	4 คะแนน
ธรรมดา	3 คะแนน	ธรรมดา	3 คะแนน
ไม่ปลอดภัย	2 คะแนน	ไม่ปลอดภัย	2 คะแนน
ไม่ปลอดภัยมาก	1 คะแนน	ไม่ปลอดภัยมาก	1 คะแนน

สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 ห้องทำงาน แบ่งเป็น 3 จุดทดลอง 1) ห้องทำงาน 2) ระเบียง 3) ห้องน้ำ โดยทุกจุดจะใช้คำถามชุดเดียวกันคือ สอบถามความรู้สึกถึงความสูงและขนาดความกว้างในความเหมาะสมต่อการใช้งานของแต่ละห้อง โดยมีตัวเลือกและลำดับคะแนนดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความกว้าง		ความสูง	
กว้างมาก	5 คะแนน	สูงมาก	5 คะแนน
กว้าง	4 คะแนน	สูง	4 คะแนน
ธรรมดา	3 คะแนน	ธรรมดา	3 คะแนน
แคบ	2 คะแนน	เตี้ย	2 คะแนน
แคบมาก	1 คะแนน	เตี้ยมาก	1 คะแนน

3.4.5 มาตรวัด (Likert Scale)

มาตรวัดแบบลิเคิร์ท เป็นเครื่องมือสำหรับชี้วัดความรู้สึกหรือทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยทั่วไปจะมีตัวเลือกในแบบสอบถามอยู่ 5 ถึง 7 ตัวเลือก ในตัวเลือกจะมีตั้งแต่ค่าน้อยไปยังค่ามาก โดยตัวเลือกใดที่มีค่ามากจะแสดงถึงความรู้สึกหรือทัศนคติเชิงเห็นด้วยหรือยอมรับต่อข้อคำถาม ในทางตรงกันข้าม หากผู้ตอบแบบสอบถามเลือกที่จะให้คะแนนน้อยกับข้อคำถาม แสดงว่าไม่เห็นด้วย หรือไม่ยอมรับกับข้อคำถามนั้น ๆ โดยจะมีการแบ่งอันตรภาคชั้น เพื่อการกำหนดช่วงเกณฑ์การวัด โดยทั่วไป จะมี 5 ถึง 7 ช่วง (Likert, 1932)

การแปลงคะแนนจากมาตรวัดมาแบ่งออกเป็นช่วงคะแนน โดยแต่ละช่วงคะแนนให้นิยามที่ต่างกัน การคำนวณช่วงคะแนนเป็นดังนี้

สูตร $$Score\ range = \frac{Maximum\ score - Minimum\ score}{Number\ of\ range}$$

ตัวอย่าง $$Score\ range = \frac{5-1}{5} = 0.8$$

จากตัวอย่างจะได้ความกว้างของอันตรภาคชั้น เท่ากับ 0.8 สามารถกำหนดรูปแบบได้ดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย 4.20 – 5.00 ระดับคะแนนอยู่ในเกณฑ์มาก
ค่าเฉลี่ย 3.40 – 4.19 ระดับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างมาก
ค่าเฉลี่ย 2.60 – 3.39 ระดับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.80 – 2.59 ระดับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.79 ระดับคะแนนอยู่ในเกณฑ์น้อย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบสอบถาม

ผลที่ได้จากการทำแบบสอบถามการเห็นสิ่งก่อสร้างจากสภาพแวดล้อมจริง และการใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ทั้ง 2 โครงการจะถูกรวบรวม และแปลผลคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดไปประมวลผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งในงานวิจัยนี้กลุ่มประชากรที่นำมาทดสอบ มีจำนวน 20 คน ใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลแบบสถิติที่ไม่ใช่พารามิเตอร (Nonparametric Statistics) ด้วยวิธีการทดสอบวิลคอกซัน (The Wilcoxon Signed - Rank Test)

3.5.1 การวัดผลความรับรู้ถึงขนาดสิ่งก่อสร้าง

การวัดผลความรับรู้ถึงขนาดสิ่งก่อสร้างของทั้ง 2 วิธีคือ ผู้ใช้เห็นสภาพแวดล้อมจริง และผู้ใช้เห็นสภาพแวดล้อมจำลองด้วยเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment) โดยเปรียบเทียบความต่างของคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามหลังจากผู้ร่วมการทดลองได้เห็นสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธี หากการใช้เทคโนโลยี Virtual Environment สามารถให้การรับรู้ถึงขนาดสิ่งก่อสร้างได้ตรงกับสภาพแวดล้อมจริงผลที่ได้จะต้องไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะใช้สถิติทดสอบลำดับที่โดยเครื่องหมายของวิลค็อกซัน (Wilcoxon-signed rank test) มีข้อกำหนดดังนี้ กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่ได้มาโดยสุ่ม การแจกแจงของประชากรสมมาตร มาตราวัดข้อมูลเป็นอันตราภาคขึ้นไปการทดสอบมีวิธีการ คือ จัดอันดับความแตกต่าง (D_i) โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายจากค่าน้อยที่สุดไปหาค่ามากที่สุด ในกรณีที่ผลต่างกรณีที่ผลต่างมีค่าเท่ากันหลายคู่ให้ใช้อันดับเฉลี่ยสำหรับข้อมูลที่มีค่าเท่ากัน ซึ่งผลต่างจะมีค่าเท่ากับ 0 ให้ตัดทิ้งไปไม่นำมาวิเคราะห์ มีผลให้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างลดลง หลังการจัดอันดับเรียบร้อยแล้ว นำเครื่องหมาย + และ – ที่อยู่หน้าผลต่างระหว่างข้อมูล (D_i) มากำกับไว้หน้าอันดับนั้น ๆ คำนวณหาค่า T^+ ซึ่งเท่ากับผลรวมของอันดับที่มีเครื่องหมายเป็นบวกทดสอบความมีนัยสำคัญของค่า T^+ ตามขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยจะจำแนกตามขนาดตัวอย่างดังนี้

กรณีขนาดตัวอยางมีขนาดเล็ก (มีขนาดนอยกวาเทากับ20)

$$T = \min\left|\sum R_i^+, \sum R_i^-\right|$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ $\sum R_i^+$ และ $\sum R_i^-$ คือ ผลรวมของอันดับของ D_i ที่มีเครื่องหมายบวกและลบตามลำดับ

T คือ ค่าของผลรวมของอันดับที่มีค่าน้อยกว่า (ไม่คิดเครื่องหมาย) ระหว่างอันดับที่มีเครื่องหมายบวกและอันดับที่มีเครื่องหมายลบ

เกณฑ์ในการตัดสินค่าที่ได้จากการคำนวณจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า T ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤต T ที่ได้จากการเปิดตาราง Wilcoxon Matched Pairs Sign-Rank Test

ในการพิสูจน์การรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธีจะใช้วิธีการ Wilcoxon signed ranks test จะถูกใช้ในการตัดสินใจว่าการรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างเป็นไปตามเงื่อนไขใดที่ถูกตั้งไว้ โดยที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กกว่า 20 คน สำหรับการวัดผลความต่างของการรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธีจะทดสอบแบบกลุ่มตัวอย่างที่ไม่อิสระจากกัน (The Dependent

samples) คือ กลุ่มตัวอย่างที่เห็นสิ่งก่อสร้างจากสภาพแวดล้อมทั้งสองแบบจะเป็นกลุ่มเดียวกัน ซึ่งใช้ 2-tailed เป็นตัวชี้วัดถึงความต่างอย่างมีนัยสำคัญ

โดยทั่วไปสำหรับการทดสอบสมมติฐานทางสถิติจะกำหนดค่าวิกฤต ($\propto$) เพื่อยอมรับ หรือปฏิเสธสมมติฐาน ไว้ ที่ 0.05

งานวิจัยการวัดผลความรับรู้ถึงขนาดสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธีจะมีสมมติฐานหลัก และสมมติ

$$H_0 : \bar{\mu}_{post} = \bar{\mu}_{pre}$$

$$H_1 : \bar{\mu}_{post} \neq \bar{\mu}_{pre}$$

ฐานรองดังนี้

สำหรับสมมติฐานข้างต้นเป็นสมมติฐานสำหรับ 2-tailed สมมติฐานหลัก (H_0) จะถูกยอมรับเมื่อค่าเฉลี่ยลำดับของความรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างแต่ละหัวข้อด้วยการเห็นสภาพแวดล้อมจริง (Pre-test score) และการเห็นสภาพแวดล้อมจำลองด้วยเทคโนโลยี Virtual Environment (Post-test score) มีค่าเฉลี่ยลำดับไม่ต่างกัน ($\bar{\mu}_{post} = \bar{\mu}_{pre}$) หมายถึง การรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธีไม่ต่างกัน ในทางตรงกันข้ามสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือสมมติฐานรอง (H_1) จะถูกยอมรับ ถ้าค่าเฉลี่ยของความรับรู้ถึงขนาดของสิ่งก่อสร้างจากทั้งสองวิธีมีค่าต่างกัน ($\bar{\mu}_{post} \neq \bar{\mu}_{pre}$) โดยการจะยอมรับหรือปฏิเสธทั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ต้องใช้ค่า P-Value หรือ Sig. (2-tailed) เทียบกับค่าวิกฤต ($\propto$) ดังนี้ ถ้าหากค่า P-Value มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต ($\propto$) ที่มีค่า 0.05 ให้ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) หรือถ้าหาก P-Value มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ($\propto$) ให้ ยอมรับสมมติฐานรองแทน (H_1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 สรุปวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มต้นดำเนินงานวิจัยจากการทบทวนงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อค้นหาเทคโนโลยีที่จะแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงงาน ซึ่งพบว่าการนำเทคโนโลยีภาพเสมือนจริง (VR) มาประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างในขั้นตอนการออกแบบได้ จากนั้นจึงดำเนินการคัดเลือกโครงการตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานวิจัย พร้อมกับศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมพัฒนาแบบแปลนสามมิติเพื่อนำมาสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงด้วยเทคโนโลยี VR และสร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินความรู้สึกต่อขนาดของสิ่งก่อสร้าง

ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการใช้เทคโนโลยี VR สร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยทดสอบจากเจ้าของโครงการ ที่ปรึกษาหรือผู้รับเหมาของโครงการที่คัดเลือกไว้ในสถานที่จริงและทำแบบสอบถามหลังจากการทดสอบใช้ VR ของกรณีศึกษาทั้ง 3 ในแบบสอบถามชุดเดียวกัน จากนั้นทำการทดสอบให้ครบทั้ง 2 โครงการที่ได้คัดเลือกไว้ จากนั้นจึงเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของการรับรู้ถึงความรู้สึกต่อสิ่งก่อสร้าง

ขั้นตอนสุดท้ายคือการสรุปผลจากการวิจัยที่ได้จากการทดสอบ 2 โครงการและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์พร้อมแนะนำแนวทางในการวิจัยในอนาคต

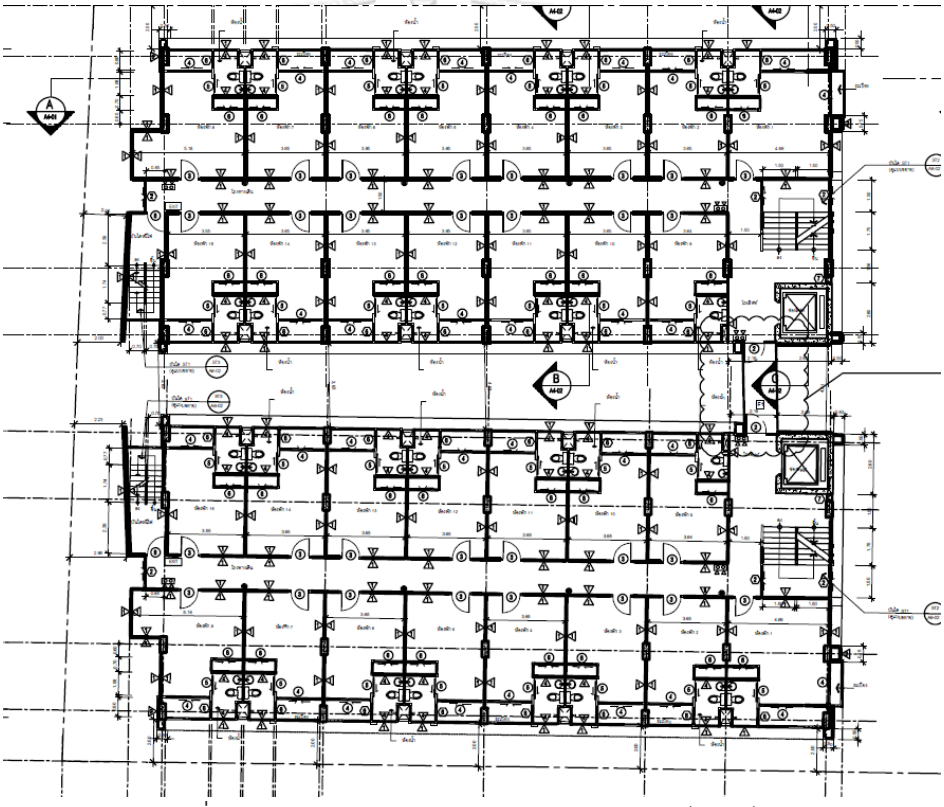
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การพัฒนาโมเดลสามมิติเพื่อทำการทดสอบ

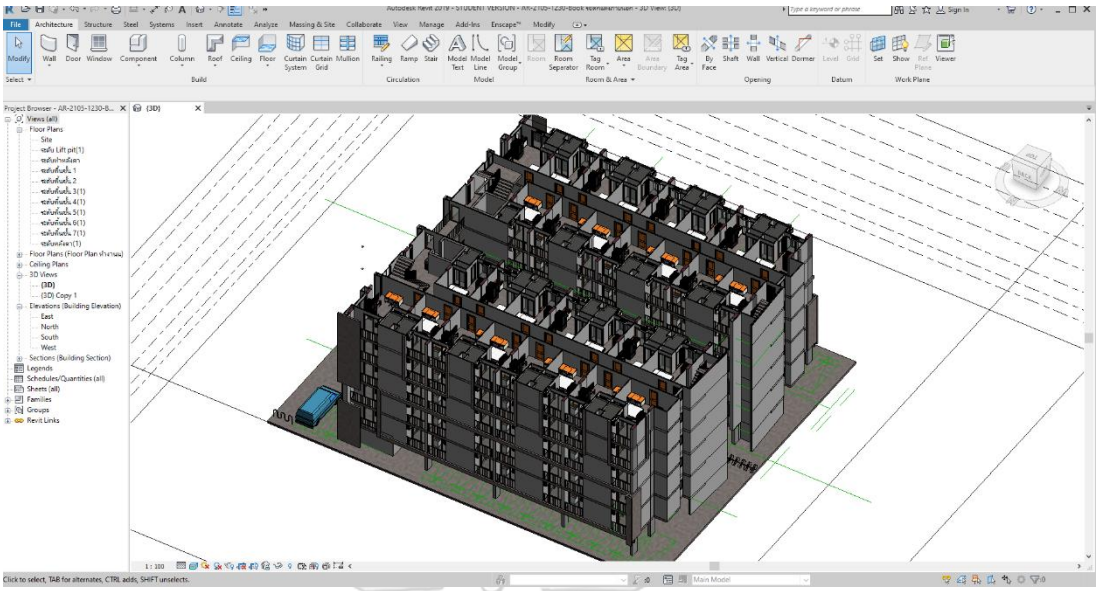
ในการพัฒนาแบบแปลนเพื่อมาใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ พัฒนาโมเดลสามมิติ จากแบบที่คัดเลือกมา และ และนำแบบสามมิติ มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสร้าง VR ผ่านโปรแกรม Enscape

4.1 การพัฒนาโมเดลสามมิติ

ในขั้นตอนการพัฒนาโมเดลสามมิตินี้ ผู้จัดทำได้เลือกโปรแกรม Revit มาใช้ โดยขั้นตอนนี้เริ่มจากการใช้แบบสองมิติที่เราได้ทำการคัดเลือกมาจากกรณีศึกษา ดังที่แสดงในภาพ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบสองมิติกรณีศึกษา ห้องพักและบันไดหนีไฟ

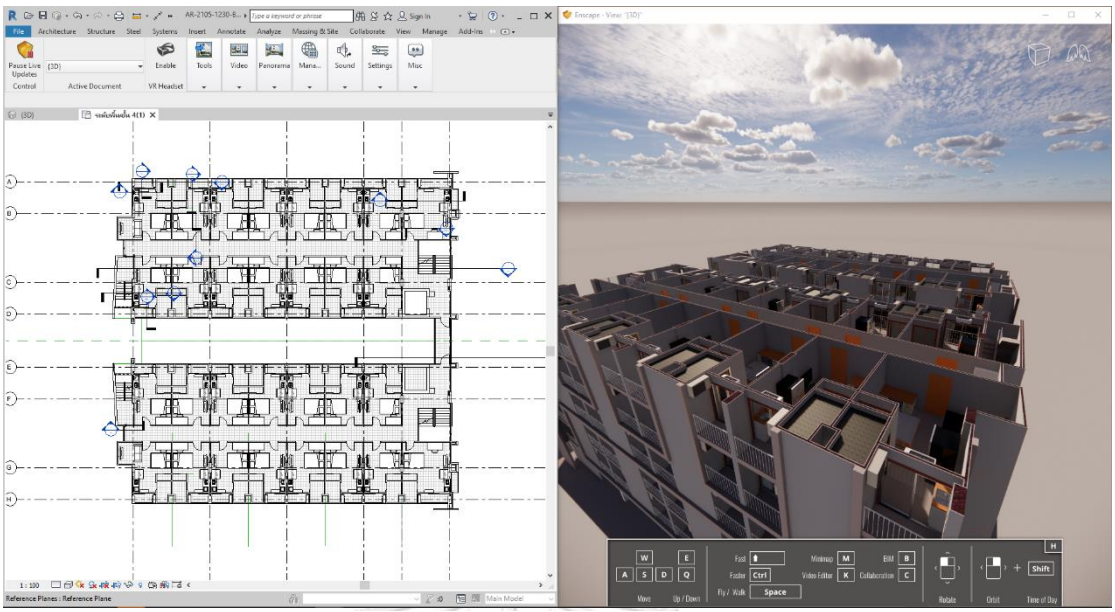


รูปที่ 4.2 ภาพการพัฒนาโปรแกรม Revit จากแบบสองมิติ

หลังจากนั้นพัฒนาแบบสามมิติกรณีศึกษาที่ 1 ขึ้นมาแล้ว ได้ทำการสร้างเป็นภาพโมเดลสามมิติใน ส่วนต่าง ๆ ของห้องกรณีศึกษา ทั้งหมด 4 ส่วน คือ บริเวณห้องพัก ระเบียงห้องพัก ห้องส้วม และห้องอาบน้ำ ในกรณีศึกษาที่ 2 มีทั้งหมด 4 ส่วน คือ โถงบันไดชั้น 3 ชั้น 4 ชั้น 5 ชั้น 6 และกรณีศึกษาที่ 3 มีทั้งหมด 3 ส่วน คือ ห้องทำงาน ห้องน้ำ ระเบียง

4.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Enscape ซึ่ง เป็นโปรแกรมนำเสนอโมเดลอาคาร งานสถาปัตยกรรม ที่สร้างแบบขึ้นจากโปรแกรมประเภท BIM (Building Information Modeling) อาทิ AUTODESK REVIT, SketchUp, Rhinoceros, ARCHICAD ในรูปแบบที่น่าตื่นตา เสมือนได้ไปยืนหรือเดินอยู่ในอาคารสถานที่ที่ถูกออกแบบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สร้างความพึงพอใจให้กับเจ้าของโครงการ และทำให้ทีมนักออกแบบมองเห็นภาพผลงานออกแบบได้อย่างชัดเจนและเข้าใจถึงอารมณ์ความรู้สึกขณะอยู่ในสิ่งก่อสร้างนั้นก่อนที่จะสร้างจริง และสามารถปรับแก้ไขแบบได้ก่อนที่มีจะการก่อสร้างจริง โดยใช้งานควบคู่กับโปรแกรม Autodesk Revit 2019 ซึ่งทำงานได้ในลักษณะการแสดงผลแบบเรียลไทม์ ทั้งในเรื่องของตัวโมเดลและวัสดุ โดยใช้การแสดงผลผ่านอุปกรณ์ Head Mounted Display ได้ทันทีและสามารถใช้งานได้หลังจากเปิดโปรแกรม



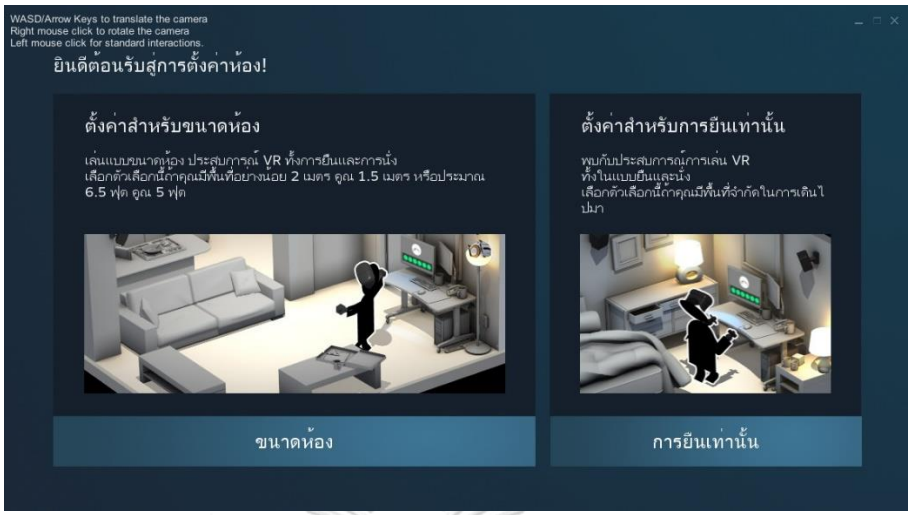
รูปที่ 4.3 การประยุกต์กับโปรแกรม Enscape

4.3 การติดตั้งเครื่อง HTC Vive

รูปที่ 4.4 เครื่อง HTC Vive และอุปกรณ์

1) เลือกพื้นที่ในการทดสอบ

ก่อนทำการติดตั้งจะต้องเลือกว่าจะทดสอบแบบใด ระหว่างทดสอบอยู่กับที่หรือทดสอบแบบมีพื้นที่สามารถเดินหรือเคลื่อนไหวได้ ซึ่งการทดสอบให้ได้รับประสบการณ์ที่ดีที่สุดควรมีพื้นที่ภายในห้องอย่างน้อยประมาณ 1.5 x 2 เมตร ความสูงของการติดตั้งที่เหมาะสมประมาณ 2 เมตร แต่สามารถปรับได้ตามความเหมาะสม

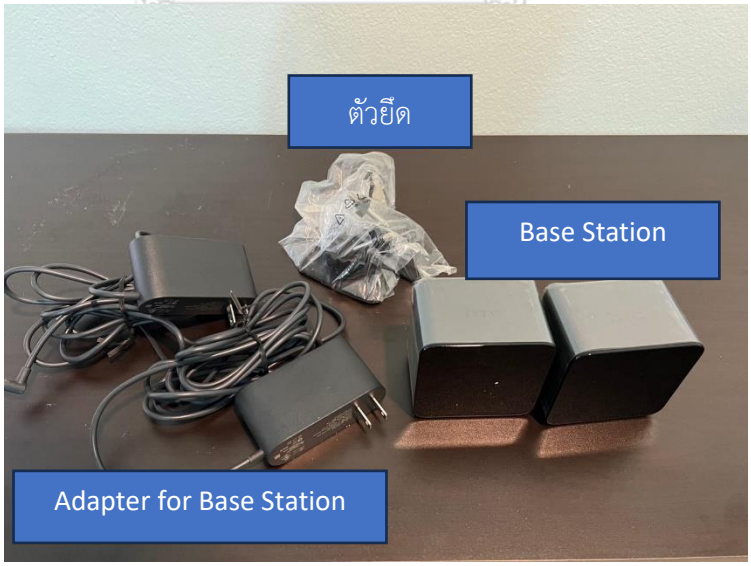


รูปที่ 4.5 การตั้งค่าขนาดห้องในการใช้ HTC Vive

2) การติดตั้ง Base Station

2.1) อุปกรณ์ที่จำเป็นในการติดตั้ง Base Station

- Bast Station จำนวน 2 ชิ้น
- Adapter จำนวน 2 ชิ้น
- Mounting Brackets (ตัวยึด) จำนวน 2 ชิ้น
- ขาตั้งกล้อง (ใช้แทนตัวยึดได้)



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ในการติดตั้ง Base Station

3) วิธีการติดตั้ง Base Station

นำ Base Station ทั้งสองชิ้นไปติดบนกำแพง หรือนำไปติดกับขาตั้งกล้อง หรืออาจจะนำไปวางบนที่สูงก็ได้ ซึ่ง Base Station จะทำหน้าที่ ในการจับการเคลื่อนไหวของผู้ทำการทดสอบ โดยการวาง Base Station ควรตั้งหันหน้าเข้าหากัน และปรับให้ Base Station ก้มหน้าลงเล็กน้อย เพื่อให้เซ็นเซอร์จับภาพผู้ทำการทดสอบได้ทั่วถึง หาก Base station จับภาพผู้ทำการทดสอบได้ดีและจับภาพ Base Station อีกชิ้นได้ ไฟด้านบนจะแสดงสีเขียว

รูปที่ 4.7 ลักษณะการวาง **Base Station**

4) การตั้งค่า Channel

หลังติดตั้ง Base Station ทั้งสองฝั่งแล้ว ให้ตั้งค่า Channel ของ Base Station โดยตั้งค่าให้แตกต่างกัน เช่น ตัวนึง B และตัวนึง C เป็นต้น โดยปุ่มตั้งค่าอยู่ด้านหลังของ Base Station กรณีที่พื้นที่ทดสอบจำกัด หรือไฟไม่แสดงสถานะสีเขียว อาจใช้สายเคเบิลเชื่อมต่อแทน

รูปที่ 4.8 ลักษณะ Base Station ที่พร้อมใช้งาน

5) เตรียมความพร้อมของ Controller Joystick

5.1) อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ Controller Joystick

- Controller Joystick ใช้ควบคุมสิ่งต่าง ๆ มีแบตเตอรี่ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเสียบสายชาร์จ

- Adapter และ USB Cable สำหรับชาร์จแบตเตอรี่

รูปที่ 4.9 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ Controller Joystick

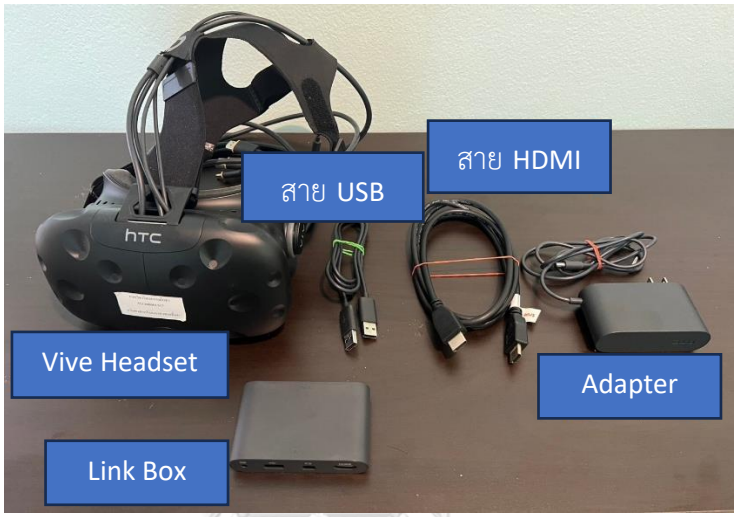
5.2) หากต้องการชาร์จแบตเตอรี่ สามารถใช้ Adapter และ USB Cable เสียบเข้ากับ Controller ได้

รูปที่ 4.10 การชาร์จ Controller Joystick

6) ติดตั้งแว่น VR และ Link Box

6.1) อุปกรณ์ที่ควรรู้จัก

- Vive Headset : แว่นที่ใช้ในการมอง เพื่อแสดงภาพเสมือนจริง
- Link Box : ตัวกลางที่เชื่อมระหว่างแว่นและเครื่อง PC
- สาย HDMI, สาย USB
- Adapter Linkbox : ตัวจ่ายพลังงานให้กับ Linkbox



รูปที่ 4.11 แว่น VR และ Link Box

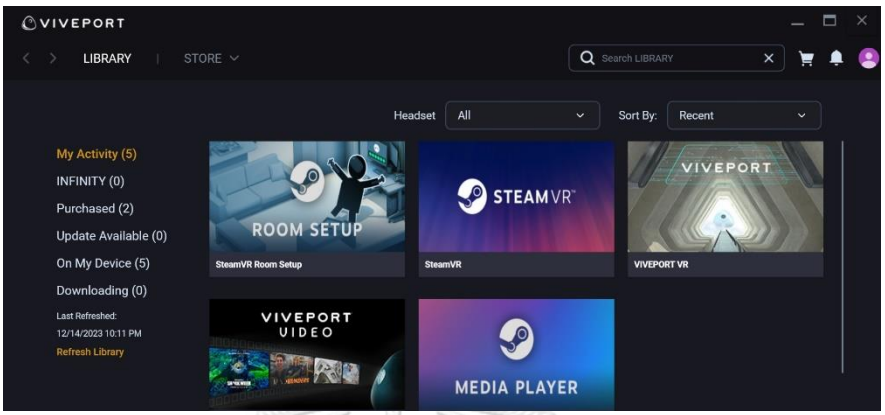
7) การติดตั้ง Linkbox

Link box แบ่งออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งที่ต่อเข้ากับ PC และฝั่งที่ต่อเข้ากับ Vive Headset ขั้นแรกต่อสายต่าง ๆ เข้ากับ Link Box และเชื่อมไปที่ PC หลังจากนั้นต่อฝั่ง Vive Headset Headset จะมีสายออกมาจากตัวแว่น 3 สายคือ HDMI, USB และสายเสียง

รูปที่ 4.12 การต่อ Link Box

8) ติดตั้ง Software

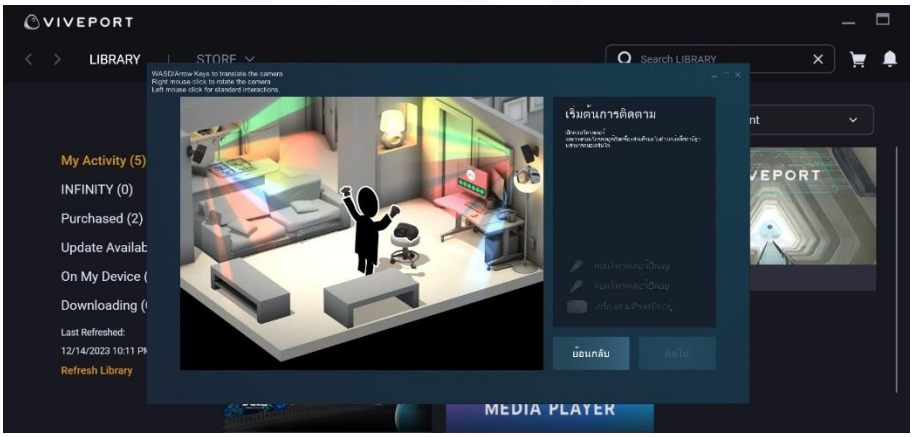
8.1) หลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์ครบแล้ว ให้ทำการติดตั้ง Software โดยสามารถดาวน์โหลดตัวโปรแกรมได้ที่ https://www.vive.com/th/



รูปที่ 4.13 การติดตั้ง software

8.2) ในการติดตั้ง Software หลังเปิดโปรแกรม จะขึ้นหน้าต่างให้ตรวจสอบความเรียบร้อยในการติดตั้ง Hardware หากติดตั้งเรียบร้อยให้ทำการติดตั้ง Software ตามขั้นตอน หลังจากนั้นเปิดโปรแกรม Steam VR โดยโปรแกรมนี้จะ Guideline การตั้งค่าเบื้องต้นให้

8.3) การตั้งค่าห้องที่ใช้ทดสอบ สามารถตั้งค่าได้โดยเลือกที่คลังและกด Steam VR Room Setup และทำตามข้อความที่ปรากฏในหน้าจอตามลำดับ เช่น การวางจอยเอาไว้กลางจุดที่ต้องการจะเล่น หรือการยืนชี้มือยิงมายังหน้าจอ



รูปที่ 4.14 VR Room Setup

9) การวัดพื้นที่

เมื่อทำตามขั้นตอนของ Steam VR Room Setup แล้ว โปรแกรมจะให้ตั้งพื้นที่ทดสอบ ให้ทำการลากคอนโทรลเลอร์ในจุดที่ต้องการ ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้ผู้ทดสอบชนกับสิ่งกีดขวางภายในห้อง โดยจะปรากฏขึ้นมาเป็นรูปบล็อกภายในเกมขณะที่เล่น

10) หลังจากที่ตั้งค่าตรงส่วนของพื้นที่ทดสอบแล้ว จะกำหนดทิศทางของจุดที่ต้องการทดสอบได้ โดยให้สังเกตุที่ตัวลูกศรที่ปรากฏขึ้นภายในจอ ซึ่งจะสามารถย่อขยายและปรับแต่งได้พอสมควร ให้ปรับจนมันเป็นรูปสีเขียว

รูปที่ 4.15 การวัดขอบเขตพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
การวิเคราะห์ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

สามารถดำเนินโดย มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ 1) การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 2) สรุปผล

5.1 ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

จากตารางที่ 5.1 สามารถอธิบายข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด จำนวน 20 คนได้ดังนี้

1) เพศ ผู้ชายมีจำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 75 และผู้หญิงมีจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 25

2) อายุ คนที่มีอายุไม่เกิน 29 ปี (อายุน้อย) มีจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 45 และคนที่มีอายุเกินกว่า 29 ปี (อายุมาก) มีจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 55

3) ประสบการณ์การทำงานก่อสร้าง คนที่มีประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างไม่เกิน 3 ปี (ประสบการณ์น้อย) มีจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 40 และคนที่มีประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างเกินกว่า 3 ปี (ประสบการณ์มาก) มีจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 60

4) ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างอาคารสูง คนที่มีประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างอาคารสูงไม่เกิน 3 ปี (ประสบการณ์น้อย) มีจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 45 และคนที่มีประสบการณ์ในการทำงานก่อสร้างเกินกว่า 3 ปี (ประสบการณ์มาก) มีจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.1 จำนวนร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกข้อมูลลักษณะส่วนบุคคล

ลักษณะส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	15	75%
หญิง	5	25%
รวม	20	100%
อายุ		
ไม่เกิน 29 ปี (อายุน้อย)	9	45%
เกินกว่า 29 ปี (อายุมาก)	11	55%

ลักษณะส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
รวม	20	100%
ประสบการณ์การทำงานก่อสร้าง		
ไม่เกิน 3 ปี (ประสบการณ์การทำงานน้อย)	8	40%
เกินกว่า 3 ปี (ประสบการณ์ทำงานมาก)	12	60%
รวม	20	100%
ประสบการณ์การทำงานก่อสร้างอาคารสูง		
ไม่เกิน 3 ปี (ประสบการณ์การทำงานน้อย)	9	45%
เกินกว่า 3 ปี (ประสบการณ์ทำงานมาก)	11	55%
รวม	20	100%

5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

5.2.1 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 1 ห้องพัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วนของห้องพัก คือ ห้องนอน ห้องอาบน้ำ ระเบียง และห้องส้วม ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะทดสอบทีละคู่ในจุดเดียวกัน ทั้งสภาพแวดล้อมจริง และสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยจะสอบถามถึงขนาด และความสูงของห้อง โดยตารางที่ 5.1 เป็นผลการเปรียบเทียบในด้านขนาด และตารางที่ 5.2 จะเป็นผลการเปรียบเทียบในด้านความสูงของห้องพัก กรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างขนาดสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 1

ตัวแปร			N	Mean rank	Sum of Ranks	Z	Sig. (2-tailed)
คู่ 1	ความกว้างห้องนอนสภาพแวดล้อมจริง ความกว้างห้องนอนสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.732	0.083
		Positive Ranks	3	2.00	6.00		
		Ties	7				
		Total	10				
คู่ 2	ความกว้างห้องอาบน้ำสภาพแวดล้อมจริง กับความกว้างห้องอาบน้ำสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.414	0.157
		Positive Ranks	2	1.50	3.00		
		Ties	8				
		Total	10				
คู่ 3	ความกว้างระเบียงสภาพแวดล้อมจริง กับความกว้างระเบียงสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.890	0.059
		Positive Ranks	4	2.50	10.00		
		Ties	6				
		Total	10				
คู่ 4	ความกว้างห้องส้วมสภาพแวดล้อมจริง กับความกว้างห้องส้วมสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.732	0.083
		Positive Ranks	3	2.00	6.00		
		Ties	7				
		Total	10				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางผลการทดลองระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test ขนาดของห้องนอน ห้องอาบน้ำ ระเบียง และห้องส้วม มีค่า Sig (2-tailed) เท่ากับ 0.083, 0.157, 0.059 และ 0.083 ตามลำดับ ซึ่ง มากกว่า 0.05 ทุกคู่เปรียบเทียบ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับของความรับรู้ถึงความรู้สึกต่อขนาดของห้องพักไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างความสูงสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 1

ตัวแปร			N	Mean rank	Sum of Ranks	Z	Sig. (2-tailed)
คู่ 1	ความสูงห้องนอนสภาพแวดล้อมจริง ความสูงห้องนอนสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.000	0.317
		Positive Ranks	1	1.00	1.00		
		Ties	9				
		Total	10				
คู่ 2	ความสูงห้องอาบน้ำสภาพแวดล้อมจริง กับความสูงห้องอาบน้ำสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	1	2.00	2.00	-0.577	0.564
		Positive Ranks	2	2.00	4.00		
		Ties	7				
		Total	10				
คู่ 3	ความสูงระเบียงสภาพแวดล้อมจริง กับความสูงระเบียงสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	2	2.00	4.00	-0.577	0.564
		Positive Ranks	1	2.00	2.00		
		Ties	7				
		Total	10				
คู่ 4	ความสูงห้องส้วมสภาพแวดล้อมจริง กับความสูงห้องส้วมสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	1	1.50	1.50	0.000	1.000
		Positive Ranks	1	1.50	1.50		
		Ties	8				
		Total	10				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางผลการทดลองระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test ความสูงของห้องนอน ห้องอาบน้ำ ระเบียง และห้องส้วม มีค่า Sig (2-tailed) เท่ากับ 0.317, 0.564, 0.564 และ 1.000 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.05 ทุกคู่เปรียบเทียบ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับของความรับรู้ถึงความรู้สึกต่อความสูงของห้องพักไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2.2 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 2 บันไดหนีไฟ

ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 5 ส่วนของโถงบันได คือ โถงบันไดชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 ชั้นที่ 5 ชั้นที่ 6 และรูปแบบของราวบันได ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะทดสอบทีละคู่ในจุดเดียวกัน ทั้งสภาพแวดล้อมจริง และสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยจะสอบถามถึงความสูงราวบันไดและรูปแบบของราวบันได โดยตารางที่ 5.4 จะเป็นผลการเปรียบเทียบในด้าน ความรู้สึกปลอดภัย กรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกด้านความปลอดภัยระหว่างสภาพแวดล้อมจริง กับความปลอดภัยสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 2

	ตัวแปร		N	Mean rank	Sum of Ranks	Z	Sig. (2-tailed)
คู่ 1	ความรู้สึกปลอดภัยด้านความสูงราวบันไดสภาพแวดล้อมจริง กับราวบันไดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ชั้นที่ 3	Negative Ranks	1	1.00	1.00	-1.000	0.317
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	9				
		Total	10				
คู่ 2	ความรู้สึกปลอดภัยด้านความสูงราวบันไดสภาพแวดล้อมจริง กับราวบันไดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ชั้นที่ 4	Negative Ranks	2	1.50	3.00	-1.414	0.157
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	8				
		Total	10				
คู่ 3	ความรู้สึกปลอดภัยด้านความสูงราวบันไดสภาพแวดล้อมจริง กับราวบันไดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ชั้นที่ 5	Negative Ranks	2	1.50	3.00	-1.414	0.157
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	8				
		Total	10				
คู่ 4	ความรู้สึกปลอดภัยด้านความสูงราวบันไดสภาพแวดล้อมจริง กับราวบันไดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ชั้นที่ 6	Negative Ranks	1	2.00	2.00	-0.577	0.564
		Positive Ranks	2	2.00	4.00		
		Ties	7				
		Total	10				
คู่ 5	ความรู้สึกปลอดภัยด้านรูปแบบของราวบันไดสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง	Negative Ranks	1	1.00	1.00	-1.000	0.317
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	9				
		Total	10				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางผลการทดลองระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test ความรู้สึกปลอดภัย ด้านความสูงราวบันไดชั้นที่ 3 ,ชั้นที่ 4 ,ชั้นที่ 5, ชั้นที่ 6 และความรู้สึกด้านภัยด้านรูปแบบของราวบันได มีค่า Sig (2-tailed) เท่ากับ 0.317, 0.157 0.157, 0.564 และ 0.317 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.05 ทุกคู่ เปรียบเทียบ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับของความรู้สึกปลอดภัยด้านความสูง และความรู้สึกปลอดด้านรูปแบบของราวบันไดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2.3 การวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 3 ห้องทำงาน

ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วนของห้องทำงาน คือ ห้องทำงาน ห้องน้ำและระเบียง ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะทดสอบทีละคู่ในจุดเดียวกัน ทั้ง สภาพแวดล้อมจริง และสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยจะสอบถามถึงขนาด และความสูง

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างขนาดสภาพแวดล้อมจริงกับขนาดสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 3

ตัวแปร			N	Mean rank	Sum of Ranks	Z	Sig. (2tailed)
คู่ 1	ความกว้างห้องทำงานสภาพแวดล้อมจริง ความกว้างห้องทำงานสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	3	2.00	6.00	-1.732	0.083
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	7				
		Total	10				
คู่ 2	ความกว้างห้องน้ำสภาพแวดล้อมจริง กับความกว้างห้องน้ำสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	0	0.00	0.00	-1.000	0.317
		Positive Ranks	1	1.00	1.00		
		Ties	9				
		Total	10				
คู่ 3	ความกว้างระเบียงสภาพแวดล้อมจริง กับความกว้างระเบียงสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	2	1.50	3.00	-1.414	0.157
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	8				
		Total	10				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางผลการทดลองระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test ขนาดของห้องทำงาน ห้องน้ำและระเบียง มีค่า Sig (2-tailed) เท่ากับ 0.083, 0.317 และ 0.157 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.05 ทุกคู่เปรียบเทียบ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับของความรับรู้ ถึงความรู้สึกต่อขนาดของห้องพักไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับของการวัดความรู้สึกระหว่างความสูงสภาพแวดล้อมจริงกับความสูงสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test กรณีศึกษาที่ 3

ตัวแปร			N	Mean rank	Sum of Ranks	Z	Sig. (2tailed)
คู่ 1	ความสูงห้องทำงานสภาพแวดล้อมจริง ความสูงห้องทำงานสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	2	1.50	3.00	-1.414	0.157
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	8				
		Total	10				
คู่ 2	ความสูงห้องน้ำสภาพแวดล้อมจริง กับความสูงห้องน้ำสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	1	1.00	1.00	-1.000	0.317
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	9				
		Total	10				
คู่ 3	ความสูงระเบียงสภาพแวดล้อมจริง กับความสูงระเบียงสภาพแวดล้อมเสมือน	Negative Ranks	3	2.00	6.00	-1.732	0.083
		Positive Ranks	0	0.00	0.00		
		Ties	7				
		Total	10				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางผลการทดลองระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ด้วยสถิติ Wilcoxon signed ranks test ความสูงของห้องทำงาน ห้องน้ำและระเบียง มีค่า Sig (2-tailed) เท่ากับ 0.157, 0.317 และ 0.083 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.05 ทุกคู่เปรียบเทียบ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 หรือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับของความรับรู้ถึงความรู้สึกต่อความสูงของห้องทำงานไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.4 สรุปและอภิปรายผลการทดลองวัดความแตกต่างระหว่างความรู้สึกสภาพแวดล้อมจริงกับความรู้สึกสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

จากการวิเคราะห์การวัดความแตกต่างระหว่างความรู้สึกสภาพแวดล้อมจริงกับความรู้สึกสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยการทำการทดสอบสมมติฐานทางการวิจัย ปรากฏผลดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ความรู้สึกระหว่างสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยลำดับไม่แตกต่างกันเท่ากัน

ผลจากการวิจัยพบว่า จากการวัดความรู้สึกระหว่างขนาดห้อง ขนาดความสูง ความปลอดภัย รูปแบบความปลอดภัยระหว่างความรู้สึกสภาพแวดล้อมจริงกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีค่า Sig. (2-tailed) มากกว่า 0.05 ทุกค่า ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักที่ได้วางเอาไว้ นั่นคือ การใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง หรือ Virtual Reality สามารถให้ความรู้สึกได้ไม่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมจริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลได้ว่า การใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ให้ความรู้สึกได้ไม่แตกต่างจากการเห็นสภาพแวดล้อมจริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาทดสอบด้านความรู้สึกของแบบก่อสร้างสามารถให้ความรู้สึกได้เหมือนกับสภาพแวดล้อมจริงดังที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และข้อจำกัดงานวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินงานก่อสร้าง การเปลี่ยนแปลงงาน (Change Order) สามารถเกิดขึ้นได้เสมอ ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เจ้าของโครงการขาดความเข้าใจในลักษณะทางกายภาพของโครงการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment) สำหรับจำลองแบบก่อสร้างก่อนการก่อสร้างให้ผู้ใช้งานได้มีความเข้าใจและเห็นถึงลักษณะทางกายภาพของงานก่อสร้างที่จะเกิดขึ้นจริง เพื่อลดความผิดพลาดที่จะส่งผลให้เกิดขึ้นในการก่อสร้าง ซึ่งอาจจะนำไปสู่การแก้ไขงานได้ จากการศึกษาได้ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน แบ่งเป็น 2 โครงการ 3 กรณีศึกษา เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการรับรู้ของความรู้สึกระหว่างสภาพแวดล้อมจริงและสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยสถานที่ในการทดลองนั้นเป็นสถานที่ก่อสร้างที่เกิดปัญหาข้อผิดพลาดในการก่อสร้างจริงซึ่งเกิดจากความรู้สึกของเจ้าของโครงการที่เปลี่ยนไป หลังจากที่ได้ดำเนินการสร้างแล้วเสร็จและยังไม่ได้แก้ไขงาน

โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ซึ่งแบ่งเป็น 2 โครงการ สำหรับทดลองวัดผลการรับรู้ของความรู้สึกจำนวน 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย กรณีศึกษาที่ 1: ห้องพักและกรณีที่ 2: บันไดหนีไฟ จำนวน 10 คน กรณีที่ 3: ห้องประชุม ทำการทดลองในสภาพแวดล้อมจริงและสภาพแวดล้อมจำลองเสมือนจริง จากนั้นจึงทำการตอบแบบสอบถาม หลังจากที่ได้ทำการการทดลองในสองสภาพแวดล้อมด้วยแบบสอบถามชุดเดียวกันและมีเนื้อหาเกี่ยวกับการรับรู้ของความรู้สึกเกี่ยวกับขนาด ความสูง และความปลอดภัย หลังจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนั้น สามารถสรุปผลได้ว่าการรับรู้ของความรู้สึกจากการได้เห็นสภาพแวดล้อมจริงเปรียบเทียบกับการได้เห็นจากสภาพแวดล้อมจำลองเสมือนจริงด้วยเทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Reality) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือการนำเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานในการจำลองแบบก่อสร้างก่อนดำเนินการก่อสร้างจริงสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานรับรู้ถึงขนาด ความสูง และความปลอดภัยได้ตั้งแต่ขั้นตอนงานออกแบบรวมทั้งตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบก่อสร้าง ซึ่งอาจนำไปสู่การลดปัญหาในเรื่องของการแก้ไขงานก่อสร้างขณะที่งานการก่อสร้างดำเนินการไปแล้วได้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ข้อเสนอแนะและแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เนื่องจากเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนั้นได้มีความละเอียดและให้ความรู้สึกเสมือนจริงมากกว่าระบบจำลองสภาพแวดล้อมรูปแบบอื่น แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของราคาอุปกรณ์ยังคงมีราคาสูง แต่มีแนวโน้มที่ราคาจะปรับตัวลงตามรูปแบบเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น ในอนาคตระบบการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจึงอาจถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ การนำเสนอโครงการ ซึ่งในปัจจุบันหลายบริษัทได้ให้ความสำคัญด้านต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้าง จึงมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการลดโอกาสในการแก้ไขการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการเกิดข้อพิพาทระหว่างคู่สัญญาในงานก่อสร้าง นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบ อาจต้องคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ในช่วงอายุใกล้เคียงกัน และมีค่าระดับสายตาใกล้เคียงกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำของผลการวิจัยจากการมองเห็นภาพของกลุ่มตัวอย่าง

6.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันนี้เครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีราคาสูง และการทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสามารถทดสอบได้เพียงครั้งละ 1 คนเท่านั้น ด้วยข้อจำกัดข้างต้นทำให้งานวิจัยนี้มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมหรือไม่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรทั้งหมดได้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงเป็นเพียงผลของกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น หากต้องการวิเคราะห์ผลให้แม่นยำมากขึ้น กลุ่มตัวอย่างควรเป็นผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการดังกล่าวเพื่อลดการอุปทาน (Bias) ที่อาจเกิดขึ้นและนำไปสู่ข้อสรุปงานวิจัยที่คลาดเคลื่อน นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างยังมีหลายช่วงอายุและมีค่าระดับสายตาที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและความแตกต่างในการมองเห็นภาพของแต่ละบุคคล หากต้องการให้ผลการวิจัยมีความแม่นยำควรเพิ่มกรณีศึกษาให้มีความหลากหลายของรูปแบบสิ่งก่อสร้างและมีความชัดเจนในด้านมิติมากขึ้น เพื่อลดข้อจำกัดของการใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Aibinu, A. A., & Jagboro, G. O. (2002). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management,* 20(8), 593-599. doi:https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00028-5

Al-Dubaisi, A. H. (2000). *Change orders in construction projects in Saudi Arabia*.

Al-Nuaimi, A. (2013). Construction Cost Overrun and Variations: Investigation on Its Causes and Consequences. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences,* 7, 311-333.

Al-Nuaimi, A., Taha, R., Al Mohsin, M., & Al-Harthi, A. (2010). Causes, Effects, Benefits, and Remedies of Change Orders on Public Construction Projects in Oman. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE,* 136. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000154

Alaryan, A., Elbeltagi, E., Elshahat, A., & Dawood, M. (2014). Causes and Effects of Change Orders on Construction Projects in Kuwait. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*.

Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management,* 24(4), 349-357. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010

Berg, L., & Vance, J. (2016). An Industry Case Study: Investigating Early Design Decision Making in Virtual Reality. *Journal of Computing and Information Science in Engineering,* 17. doi:10.1115/1.4034267

Chen, Y.-C., Chi, H.-L., Kang, S.-C., & Hsieh, S.-H. (2011). A smart crane operations assistance system using augmented reality technology. *Proceedings of the* 28*th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC* 2011.

Cox, R. K. (1997). Managing Change Orders and Claims. *Journal of Management in Engineering,* 13(1), 24-29. doi:doi:10.1061/(ASCE)0742-597X(1997)13:1(24)

Desai, J., Pitroda, D. J., & Bhavsar, P. (2015). A REVIEW ON CHANGE ORDER AND ASSESSINGCAUSES AFFECTING CHANGE ORDER IN CONSTRUCTION. *JOURNAL OF INTERNATIONAL ACADEMIC RESEARCH FOR MULTIDISCIPLINARY Impact Factor* 1.625*, ISSN:* 2320-5083*,* 2, 152-162.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Diekmann, J., & Nelson, M. C. (1985). Construction Claims: Frequency and Severity. *Journal of Construction Engineering and Management-asce,* 111, 74-81.

Dunston, P., Arns, L. L., & McGlothlin, J. (2007). Immersive Virtual Reality Mock-Up for Design Review of Hospital Patient Rooms. *Collaborative Design in Virtual Environments,* 48.

Golparvar-Fard, M., Pena-Mora, F., & Savarese, S. (2009). Application of D4AR - A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. *Journal of Information Technology in Construction,* 14, 129-153.

Hanna, A., Camlic, R., Peterson, P., & Lee, M.-J. (2004). Cumulative Effect of Project Changes for Electrical and Mechanical Construction. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE,* 130. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:6(762)

Hilfert, T., Teizer, J., & König, M. (2016). *First Person Virtual Reality for Evaluation and Learning of Construction Site Safety*.

Ijaola, I., & Iyagba, R. (2019). A Comparative Study of Causes of Change Orders in Public Construction Project in Nigeria and Oman. 3, 495-501.

Jawad, R., Abdulkader, M., & Ali, A. (2009). Variation orders in construction projects. *Journal of Engineering and Applied Sciences,* 4, 170-176.

Juan, Y.-K., Chen, H.-H., & Chi, H.-Y. (2018). Developing and Evaluating a Virtual Reality-Based Navigation System for Pre-Sale Housing Sales. *Applied Sciences,* 8, 952. doi:10.3390/app8060952

Keane, P., Sertyesilisik, B., & Ross, A. (2010). Variations and Change Orders on Construction Projects. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction,* 2. doi:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000016

Kwon, O.-S., Park, C., & Lim, C.-R. (2014). A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. *Automation in Construction,* 46, 74â□ □81. doi:10.1016/j.autcon.2014.05.005

Lee, S., & Akin, Ö. (2011). Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. *Automation in Construction,* 20, 338-352. doi:10.1016/j.autcon.2010.11.004

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Lokhande, M., Saif, F., & Ahmed, Y. (2015). Assessing Consequences of Change Request Impact in Construction Industry of YEMEN: An Explorative Likert-Scale Based Survey Design. *Management* 2015*,* 5(5): 141-147 *DOI:* 10.5923/*j.mm.*20150505.01*,* 2015, 141-147. doi:10.5923/j.mm.20150505.01

Oladapo, A. (2007). A quantitative assessment of the cost and time impact of variation orders on construction projects. *Journal of Engineering, Design and Technology,* 5, 35-48. doi:10.1108/17260530710746597

Park, M. (2002). *Dynamic Change Management for Fast-Tracking Construction Projects*.

Perkins, R. A. (2009). Sources of Changes in Design–Build Contracts for a Governmental Owner. *Journal of Construction Engineering and Management,* 135(7), 588-593. doi:doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:7(588)

Popov, V., Juocevicius, V., Migilinskas, D., Ustinovichius, L., & Mikalauskas, S. (2010). The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. *Automation in Construction,* 19, 357-367. doi:10.1016/j.autcon.2009.12.005

Sun, M., & Meng, X. (2009). Taxonomy for change causes and effects in construction projects. *International Journal of Project Management,* 27, 560-572. doi:10.1016/j.ijproman.2008.10.005

Yana, A. A., H.A, R., & Wibowo, M. (2015). Analysis of Factors Affecting Design Changes in Construction Project with Partial Least Square (PLS). *Procedia Engineering,* 125, 40-45. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.007

Zhou, Y., Luo, H., & Yang, Y. (2017). Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. *Automation in Construction,* 82. doi:10.1016/j.autcon.2017.02.007

กวีไกร ศรีหิรัญ. (2563). การสร้างข้อมูลในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ขององค์ประกอบอาคารสถาปัตยกรรมไทย จากข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ ที่ได้จากเทคโนโลยีเลเซอร์สแกน. วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมศาสตร์, ปีที่ 70 (2563).

ธนัชชา สุขขี. (2554). การศึกษาการเลือกใช้แบบจำลองข้อมูลอาคาร สำหรับอุตสาหกรรม ก่อสร้างในประเทศไทย. การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโครงการก่อสร้าง, บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร.,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วุฒิภัทร วัชรพันธ์
วัน เดือน ปี เกิด	27 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	279/106 หมู่บ้านอรุณทองสาย 1 ซอย เพชรเกษม 68 แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY