ระบบผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนสำหรับการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

โดย

นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ระบบผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนสำหรับการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

โดย

นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

AUGMENTED REALITY SYSTEM FOR INTERACTIVE PRESENTATION OF 3D BIM MODELS

BY

MR. SUTTIPAT LORSAKUNKANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE

ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์

เรื่อง

ระบบผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนสำหรับการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์
กับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ เลิศสิทธิชัย)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร. ชาวี บุษยรัตน์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา จันทร์แจ่มหล้า)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนสำหรับการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร
ชื่อผู้เขียน	นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. ชาวี บุษยรัตน์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรมระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในระหว่างกระบวนการก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การสื่อสารด้วยผังอาคารสองมิติ, ภาพจำลองอาคารสามมิติ หรือแบบจำลองสามมิติ (3D Model) เป็นต้น ซึ่งความซับซ้อนในผังอาคารสองมิติอาจทำให้เกิดปัญหาด้านการสื่อสารทำให้เกิดความเข้าใจที่ไม่ตรงกันระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ แต่การสื่อสารด้วยแบบจำลองสามมิติจะช่วยให้การสื่อสารข้อมูลทำได้ง่ายมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน มีเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) ที่สามารถมองเห็นภาพแบบจำลองสามมิติที่ซ้อนทับอยู่บนวัตถุในโลกจริง

ในปัจจุบันการสร้างแบบจำลองสามมิติมี “โปรแกรมประเภท BIM (Building Information Modeling) หรือการจำลองสารสนเทศอาคารโดยการสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติพร้อมกับข้อมูลจำเพาะของชิ้นส่วนในแบบจำลองสามมิติ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการทำงานขั้นตอนต่อไป เช่น งานด้านวิศวกรรม งานก่อสร้าง หรืองานบริหารการก่อสร้าง เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติที่มาจากระบบการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ที่สามารถบอกถึงรายละเอียดขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมและเมื่อนำแบบจำลองสามมิติที่ได้มาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) ผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Smart Device) เพื่อสร้างระบบที่ช่วยในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเพื่อลดปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในการสื่อสาร

วิธีการดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยได้ใช้การศึกษาเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนและการสร้างระบบโดยใช้โปรแกรมเกมเอนจิ้นยูนิตี้ (Unity) เพื่อสร้างระบบสารสนเทศ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ (1) การเตรียมข้อมูลแบบจำลองของระบบที่พัฒนาขึ้น (2) การแสดงผลต่อผู้ใช้งานของระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจะทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบและประสิทธิภาพในการสื่อสารโดยใช้การเปรียบเทียบระยะเวลาในการสื่อสารด้วยแบบจำลองและการใช้ผังอาคารสถาปัตยกรรมสองมิติกับการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรม โดยประเมินกับกลุ่มสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ แล้วจึงนำผลที่ได้จากการประเมินระบบมาปรับปรุง และนำเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: แบบจำลองสามมิติ, เทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน, เกมเอนจิ้น, เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

Thesis Title	AUGMENTED REALITY SYSTEM FOR INTERACTIVE PRESENTATION OF 3D BIM MODELS
Author	Mr. Suttipat lorsakunkanon
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Chawee Busayarat, Ph.D.
Academic Years	2015

ABSTRACT

The communication between architects and construction team in the project during the construction architectural process. There are many ways to communicate such as two-dimension architectural drawings (2D Drawings), architectural models or three-dimension architectural Model (3D Models). 2D drawings may cause problem in understanding between architects and construction team in the project. But communication with the 3D architectural models allows data communication much easier. Currently, the presentations technology in 3D architectural models Augmented Reality technology can be used to avoid misinterpretation in 2D architectural drawing.

Currently, we can creating a 3D models by BIM (Building Information Modeling). 3D models by BIM can specifications of the information in components on 3D models. We can use Information in components to the next stage of work, such as engineering or construction management

This research aimed to create interactive presentations system with Augmented Reality. 3D architectural models in this research that come from the 3D architectural models are built with the simulation building information (BIM: Building Information Modeling) to tell the details of the information in object of 3D architectural

models. Augmented Reality System can use the system on Smart Device to assist in communication between architects and construction team to reduce misunderstandings in communication.

In this research, the researchers used education about augmented reality and how to building a system by using the Unity game engine. Divided into 2 main sections: (1) Preparing the data model of the system. (2) visibility to users of information systems. By evaluating the performance and efficiency of the system to communicate with the comparison in the communication by an architectural model and 2D architectural drawings and augmented reality system in this research to assist in data communication architecture. Evaluating by a group of architects and construction team in the project. The results of the evaluation system to improve. And proposed the development of an information system in the future.

Keywords: 3D Models, Augmented Reality System, Game Engine, Building Information Modeling

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ชาวี บุษยรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยดูแลและช่วยแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดี และให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา จันทร์แจ่มหล้า ที่ให้คำปรึกษาด้านการประเมินงานวิจัยและช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ เลิศสิทธิชัย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาในวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ พี่สุรัตน์ คุณทิพากร พี่กอล์ฟ พี่ออย พี่ตวง และพี่ยุ้ยที่ช่วยให้สถานที่และข้อมูลในการทดสอบระบบของวิทยานิพนธ์และเอื้อเฟื้อในการทำแบบประเมินและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2559 ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 26/2559

ขอขอบพระคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ประสบการณ์ที่ดี และทำให้ข้าพเจ้าได้รู้จักกับเพื่อน พี่ และน้องที่ดีจากคณะแห่งนี้ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้วิจัย รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะการศึกษาเป็นอย่างดีเสมอมา สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อน ๆ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ขอบคุณครับ

นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตาราง	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 คำถามวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 สมมติฐานการวิจัย	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.8 กรอบแนวความคิดในการดำเนินการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎี แนวคิด งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษา	9
2.1 ทฤษฎีของการสื่อสาร	9
2.2 การนำเสนองานสถาปัตยกรรม	10
2.3 การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์	12
2.4 การแสดงผลแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่	14
2.5 การประมวลผลจากภาพ (Image Processing)	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	25

3.1 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาการทำงานหลักของระบบ 25

3.3 ขั้นตอนการประเมินผลระบบ 27

3.4 กลุ่มหน่วยทดลอง 28

3.5 วิธีการประเมินประสิทธิภาพระบบที่พัฒนาขึ้น 28

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 29

บทที่ 4 ผลการวิจัย 30

4.1 การออกแบบระบบ 30

4.2 การพัฒนาของระบบสารสนเทศ 34

4.3 การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ 44

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 56

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้น 56

5.2 สรุปผลการประเมินการทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มเป้าหมาย 57

5.3 สรุปข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย 58

รายการอ้างอิง 60

หนังสือ 60

สื่ออิเล็กทรอนิกส์ 60

Articles 60

Electronic Media 61

ภาคผนวก 62

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามความคิดเห็นการใช้ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน 63

ภาคผนวก ข

ควบคุมแบบจำลองสามมิติและเปลี่ยน Scene 67

ภาคผนวก ค

แสดงรายละเอียดจำเพาะของแบบจำลองสามมิติ 70

ภาคผนวก ง
การเลือกชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติ 72

ภาคผนวก จ
การตีกรอบบนแบบจำลองสามมิติ 73

ประวัติผู้เขียน 74

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ขั้นตอนการทำงานทางสถาปัตยกรรม(ดัดแปลง)	1
ขั้นตอนการทำงานทางสถาปัตยกรรม(ดัดแปลง)	2
แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 1	6
แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 2	7
แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 3	8
ตัวอย่างแบบผังอาคารสองมิติ	10
ภาพตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Revit.	11
เครื่องพิมพ์แบบจำลองสามมิติ	12
หลักการทำงานของ GUI	13
หลักการทำงานของ TUI	14
ภาพแสดงการทำงานของระบบ Virtual Reality	15
อุปกรณ์เชื่อมต่อเข้าสู่ Virtual Reality ยี่ห้อ Oculus Rift	15
อุปกรณ์เชื่อมต่อเข้าสู่ Virtual Reality ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟน	15
การทำลองใช้อุปกรณ์สำหรับ Virtual Reality	16
การทำงานของเทคโนโลยีเสมือนจริง	17
การแสดงภาพสามมิติจากการตรวจจับสัญลักษณ์	18
Application Layar ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนได้	18
Application Aurasma ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนได้	19
เว็บไซต์ Vuforia ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนและสนับสนุน	19
การใช้งานบนโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity โดยเฉพาะ	19
แผนผังแสดงการทำงานของระบบ Image Processing	21
แผนผังแสดงการทำงานของระบบ Image Processing(2)	21

ตัวอย่างการทำงานของระบบ จาก *The House of Olbrich - An Augmented Reality Tour through architectural histor* 22
ตัวอย่างการทำงานของระบบ จาก *The House of Olbrich - An Augmented Reality Tour through architectural history* 22
ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์ จาก *3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality* 23
ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์ จาก *3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality* 23
แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ 26
ภาพรวมของระบบ 31
ภาพรวมการทำงานของระบบฐานข้อมูล 32
การออกแบบภาพรวมการทำงานของผู้ใช้งาน 33
กระบวนการใช้งานระบบ 34
การเตรียมสัญลักษณ์บนเว็บไซต์ Vuforia 35
การนำแบบจำลองสามมิติมาใช้ร่วมกับสัญลักษณ์ในระบบที่พัฒนาขึ้น 36
การตั้งค่า Tagged เพื่อแยกประเภทขององค์ประกอบแบบจำลองสามมิติ 36
การตรวจจับหาสัญลักษณ์เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติ 37
การตรวจจับหาสัญลักษณ์เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติ (2) 38
การขยายขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดเล็กลงด้วยการกดปุ่ม Scale Up 38
การย่อขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดเล็กลงด้วยการกดปุ่ม Scale Down 39
การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาด้วยการกดปุ่ม Rotate Left 39
การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยการกดปุ่ม Rotate Right 39
การเปลี่ยนแบบจำลองสามมิติไปยังแบบจำลองสามมิติอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้กำหนดไว้ด้วยการกดปุ่ม Change Scene 40
แบบจำลองสามมิติที่ถูกเปลี่ยนรูปแบบตามที่กำหนดไว้จากการกดปุ่ม Change Scene 40
การหมุนแบบจำลองสามมิติด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและหมุนพร้อมกัน 41
การย่อขนาดของแบบจำลองสามมิติด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอเลื่อนเข้าหากัน 41

การขยายขนาดของแบบจำลองด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและเลื่อนออกจากกัน
ในทิศทางตรงกันข้าม 41
การแสดงายละเอียดของเสาในแบบจำลองสามมิติ 42
การแสดงายละเอียดของประตูในแบบจำลองสามมิติ 42
การแสดงายละเอียดของผนังในแบบจำลองสามมิติ 42
การเลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ 43
การสร้างกรอบเป้าหมายลงบนแบบจำลองสามมิติ 44

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ตารางแสดงผลการทดลอง 49

4.2 ตารางแสดงข้อมูลทั่วไปของหน่วยทดลองการใช้งานระบบสารสนเทศ 50

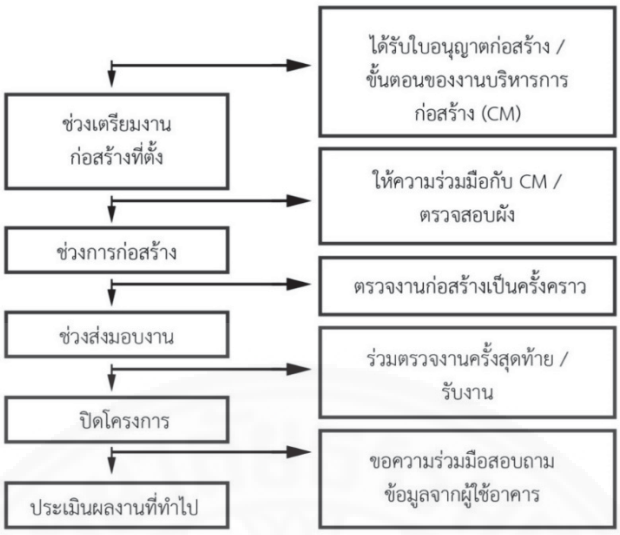
4.3 ตารางสรุปคะแนนแบบประเมินความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ 52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการทำงานสถาปัตยกรรมนั้นมีกระบวนการทำงานหลายขั้นตอนด้วยกัน และสถาปนิกก็เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการเหล่านั้นตามภาพที่ 1.1 ในขั้นตอนที่สถาปนิกจะมีส่วนร่วมในการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการนั้นเป็นได้ตั้งแต่การออกแบบร่างอาคารไปจนถึงปิดโครงการ โดยสถาปนิกจะต้องมีการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเกี่ยวกับข้อมูลทางสถาปัตยกรรม ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือความซับซ้อนของข้อมูลทางสถาปัตยกรรมอาจทำให้เกิดปัญหาการเข้าใจไม่ตรงกันระหว่างสถาปนิกกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการและทำให้เกิดการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมที่ผิดจากที่ออกแบบไว้ได้

ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานทางสถาปัตยกรรม(ดัดแปลง), โดย อวยชัย วุฒิโฆษิต, 2546.



ภาพที่ 1.1(ต่อ) ขั้นตอนการทำงานทางสถาปัตยกรรม(ดัดแปลง), โดย อวยชัย วุฒิโฆษิต, 2546.

การนำเสนองานสถาปัตยกรรมคือการทำให้การออกแบบทางสถาปัตยกรรมแสดงออกมาเป็นรูปธรรมที่ทำให้ผู้รับรู้ข้อมูลสามารถเข้าใจรูปแบบสถาปัตยกรรมนั้นๆได้ซึ่งรูปแบบของการเสนองานสถาปัตยกรรมที่สถาปนิกสามารถนำไปสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อให้การสื่อสารนั้นเกิดความเข้าใจที่ตรงกันในกระบวนการออกแบบสามารถทำได้หลายวิธี ผู้วิจัยได้แยกการนำเสนองานสถาปัตยกรรมออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

(1) การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสองมิติ

(2) การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสามมิติ

(3) การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยแบบจำลอง (Models)

ซึ่งในการนำเสนอภาพงานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสองมิตินั้น ในประเภทของแบบผังอาคารอาคารสถาปัตยกรรม ผู้ที่รับข้อมูลจะต้องมีความสามารถในการอ่านแบบผังอาคารเพื่อให้สามารถเข้าใจภาพรวมของผังอาคารนั้น ซึ่งต่างจากการมองภาพเป็นแบบสามมิติที่ผู้รับข้อมูลสามารถมองเห็นรูปทรงของอาคารได้ในหลายมิติทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมของงานสถาปัตยกรรมได้โดยง่าย

ปัจจุบันการสร้างแบบจำลองงานสถาปัตยกรรมถูกทำขึ้นด้วยเทคโนโลยีสร้างแบบจำลองสามมิติบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้สามารถเห็นภาพของงานสถาปัตยกรรมนั้นๆก่อนการก่อสร้างจริง ซึ่งเมื่อทำแบบจำลองสามมิติภายในคอมพิวเตอร์ แบบจำลองเหล่านั้นก็จะถูกนำเสนอต่อลูกค้าของสถาปนิกได้หลายวิธี เช่น การตัดแบบจำลองอาคาร, ฉายภาพแบบจำลองสามมิติขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

การนำเสนอข้อมูลของงานสถาปัตยกรรมมีหลายรูปแบบ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการนำเสนอข้อมูลด้วยการฉายภาพนำเสนอข้อมูลต่าง ๆ ภายในหน้าจอคอมพิวเตอร์ แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาด้านการนำเสนอข้อมูลโดยวิธีนำเสนอภาพสามมิติด้วยการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) ซึ่งจะช่วยทำให้ผู้รับสารสามารถมองเห็นข้อมูลภาพเป็นแบบสามมิติ ที่แตกต่างจากการมองภาพสามมิติผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันการสร้างแบบจำลองสามมิติมี “โปรแกรมประเภท BIM (Building Information Modeling) หรือการจำลองสารสนเทศอาคารโดยการสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติพร้อมกับข้อมูลจำเพาะของชิ้นส่วนในแบบจำลองสามมิติ ที่ช่วยในการสร้างแบบจำลองสามมิติพร้อมกับการใส่ข้อมูลจำเพาะของวัสดุต่าง ๆ ลงไปในองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ เพื่อให้สามารถทราบได้ถึงข้อมูลต่างๆได้และนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการทำงานขั้นตอนต่อไป

ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือในการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อเสนอข้อมูลทางสถาปัตยกรรมนั้นในการใช้งานโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามิติผู้ใช้งานจะต้องมีประสบการณ์ในการใช้งานโปรแกรมนั้นๆ แต่การทำงานร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีจะช่วยทำให้การเข้าใจผังอาคารและแบบจำลองสามมติของงานสถาปัตยกรรมทำได้ง่ายมากขึ้นและสามารถขยายกลุ่มเป้าหมายที่สามารถเข้ามาใช้งานเทคโนโลยี

เพื่อการทำงานร่วมกันระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรม จึงเกิดการศึกษาการใช้เทคโนโลยีแบบผสมขึ้นระหว่าง เทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน และเทคโนโลยีการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) เพื่อช่วยในในการนำเสนอแบบจำลองสามมิติเพื่อให้สถาปนิกสามารถแสดงข้อมูลทางสถาปัตยกรรมต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อใช้ในการพูดคุยและแก้ไขแบบของงานสถาปัตยกรรมเบื้องต้นได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นด้วยการประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานระบบและประสิทธิภาพในการสื่อสาร เพื่อประเมินถึงความเข้าใจในการใช้งานระบบและเพื่อตรวจสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยในการแก้ปัญหาด้านการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในกระบวนการก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมได้

1.2 คำถามวิจัย

ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติลักษณะใดจะช่วยทำให้การสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการการก่อสร้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสารสนเทศอาคารสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนและการประมวลผลจากภาพ เพื่อเป็นสื่อในการนำเสนองานสถาปัตยกรรม

1.3.2 เพื่อสร้างระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติและแสดงข้อมูลจำเพาะของแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรมประเภท BIM ด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน และการประมวลผลจากภาพ

1.3.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในการรับรู้ข้อมูลงานสถาปัตยกรรมจากการใช้ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน และการประมวลผลจากภาพ

1.4 สมมติฐานการวิจัย

1.4.1 ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน และการประมวลผลจากภาพ จะทำให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าใจงานสถาปัตยกรรมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4.2 ระบบการนำเสนองานสถาปัตยกรรมนี้จะช่วยให้สถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการสามารถสื่อสารและแก้ไขผังอาคารเบื้องต้นได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ระบบการนำเสนองานสถาปัตยกรรมที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นส่วนช่วยในการนำเสนองานสถาปัตยกรรมจากแบบจำลองสามมิติในคอมพิวเตอร์ให้สามารถนำเสนอออกมาในรูปแบบของภาพสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน

1.5.2 กลุ่มเป้าหมายที่จะทำการทดสอบการใช้งานและประเมินการใช้งานระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติแบบลอยตัวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) สถาปนิก ที่มีความสามารถในการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ

(2) ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ

1.5.3 ประเด็นที่จะทำการประเมินกลุ่มเป้าหมายแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นคือ

(1) ประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ โดยมีวิธีการประเมินคือ ประเมินด้วยแบบสอบถามความคิดเห็น โดยจะประเมินประสิทธิภาพในการแสดงผล และประเมินความเข้าใจในการใช้งานระบบ

(2) ประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสาร โดยมีวิธีการประเมิน 2 วิธีคือ ประเมินด้วยแบบสอบถามความคิดเห็น และประเมินด้วยการทดลองการใช้งานระแบบในการสื่อสารและจับเวลาเพื่อวัดระยะเวลาในการสื่อสารด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับการสื่อสารด้วยแบบผังอาคาร

1.5.4 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย เริ่มตั้งแต่ เดือน สิงหาคม 2558 ถึง เดือน สิงหาคม 2559 รวมระยะเวลา 1 ปี

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1.6.1 การผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) : การนำเสนอแบบจำลองสามมิติโดยการซ้อนทับแบบจำลองสามมิติลงบนโลกจริงโดยแสดงผลผ่านหน้าจอ Smart Device

1.6.2 เกมเอนจิ้น (Game Engine) : ระบบจำลองสามมิติที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างสภาพแวดล้อมและควบคุมการสั่งงานวัตถุจำลองสามมิติ เพื่อใช้ในการสร้างเกม

1.6.3 การประมวลผลจากภาพ (Image Processing) : การประมวลผลจากภาพ คือ ระบบการนำภาพมาแปลงเป็นข้อมูลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำงานต่อได้

1.6.4 ประสิทธิภาพ (Efficiency) : ความเข้าใจต่อการใช้งาน, ลดระยะเวลาในการสื่อสารระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน

1.6.5 โปรแกรมการจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) : BIM (Building Information Modeling) โปรแกรมการสร้างแบบจำลองสามมิติที่สามารถบอกถึงรายละเอียดของวัสดุ ขนาด และรายละเอียดขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม

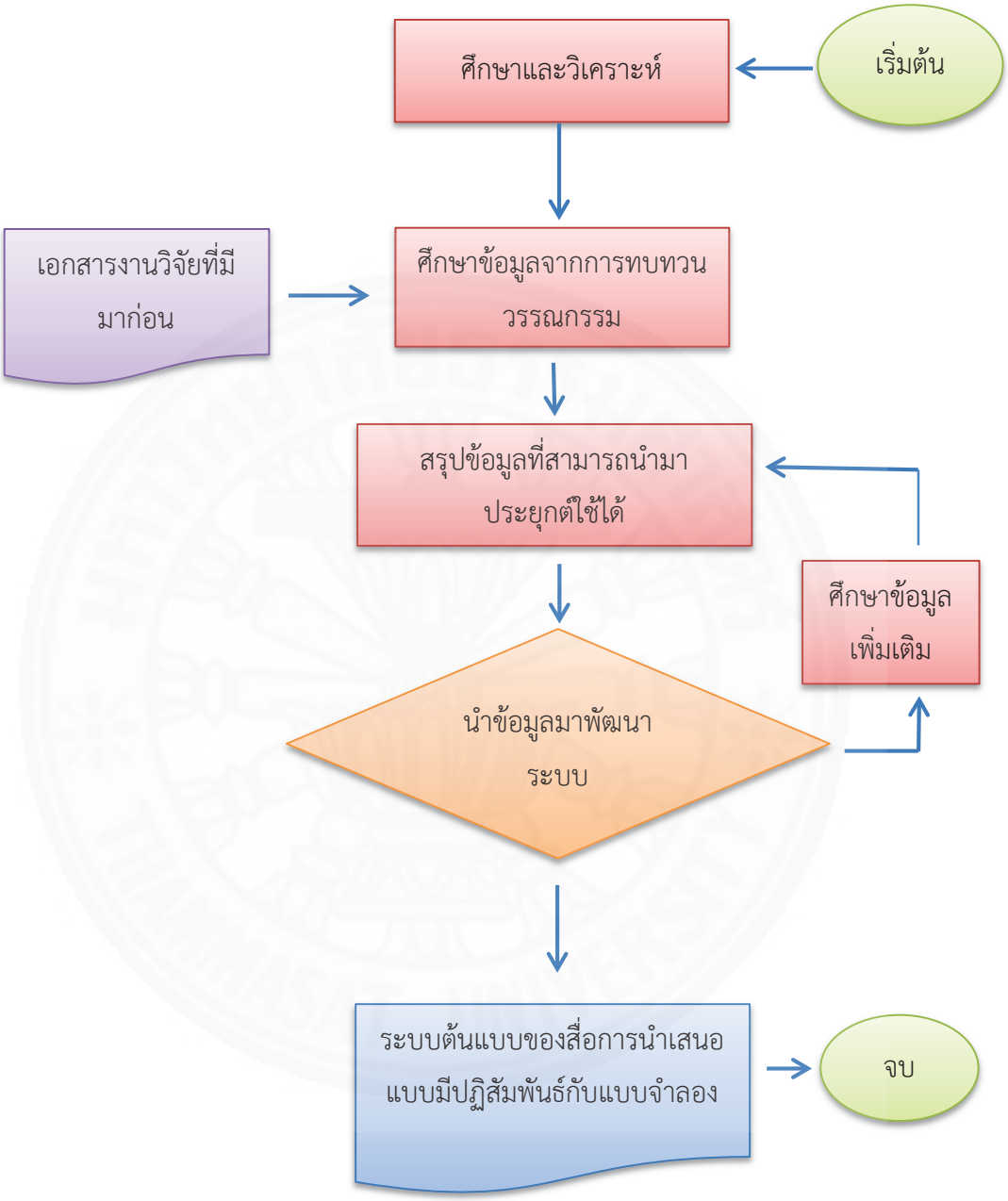
1.6.6 โปรแกรมประยุกต์ (Application) หมายถึง โปรแกรมประยุกต์สำหรับใช้งานบน Smart Device เพื่อนำมาพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

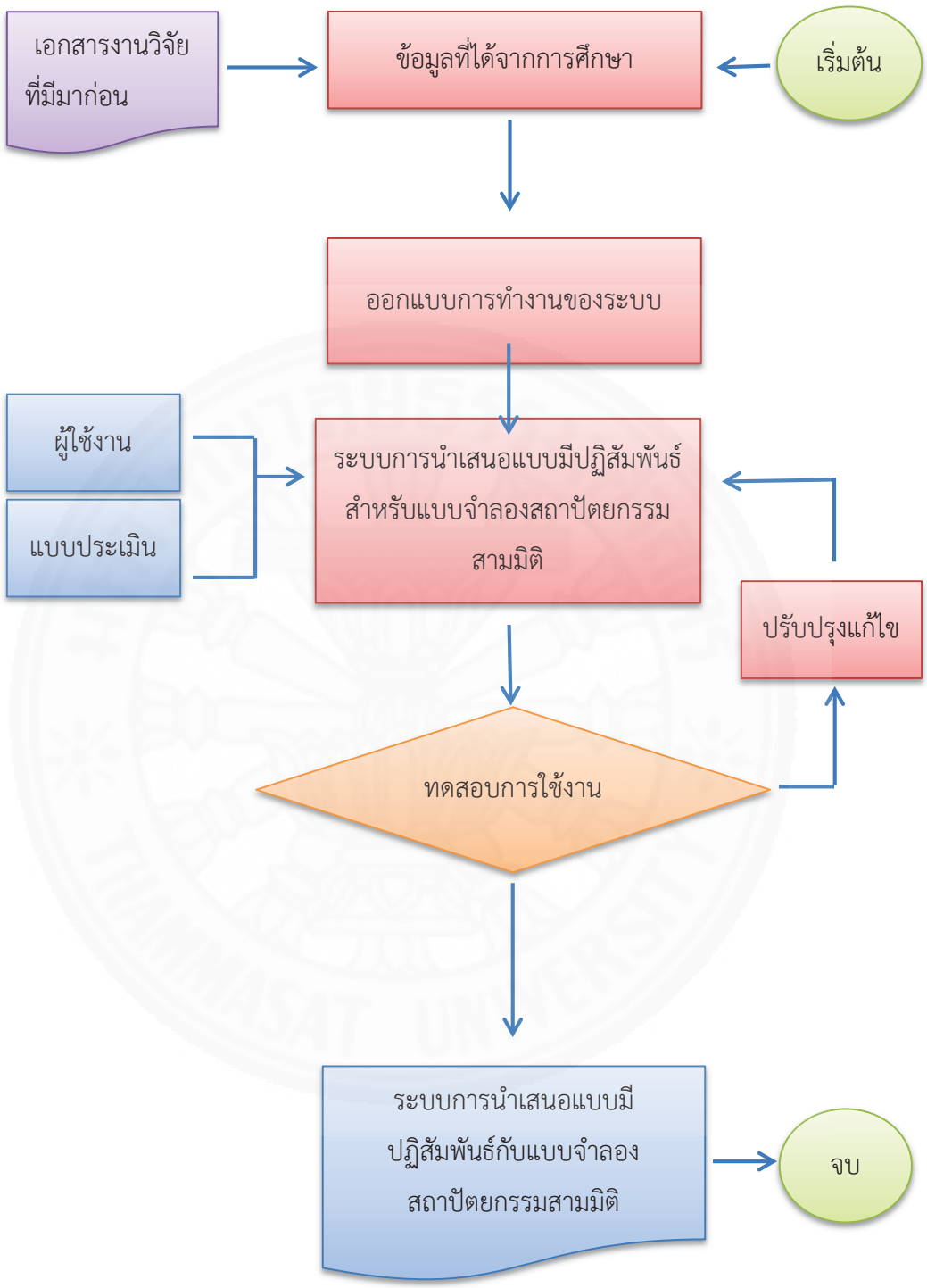
1.7.1 สื่อการนำเสนอแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน เพื่อช่วยให้สถาปนิกสามารถสื่อสารข้อมูลกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการทางสถาปัตยกรรม

1.7.2 ผู้ใช้งานที่ไม่ได้เป็นผู้เชี่ยวชาญในการใช้งานโปรแกรมสามมิติ สามารถทำความเข้าใจแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน และเทคโนโลยีการประมวลผลจากภาพ

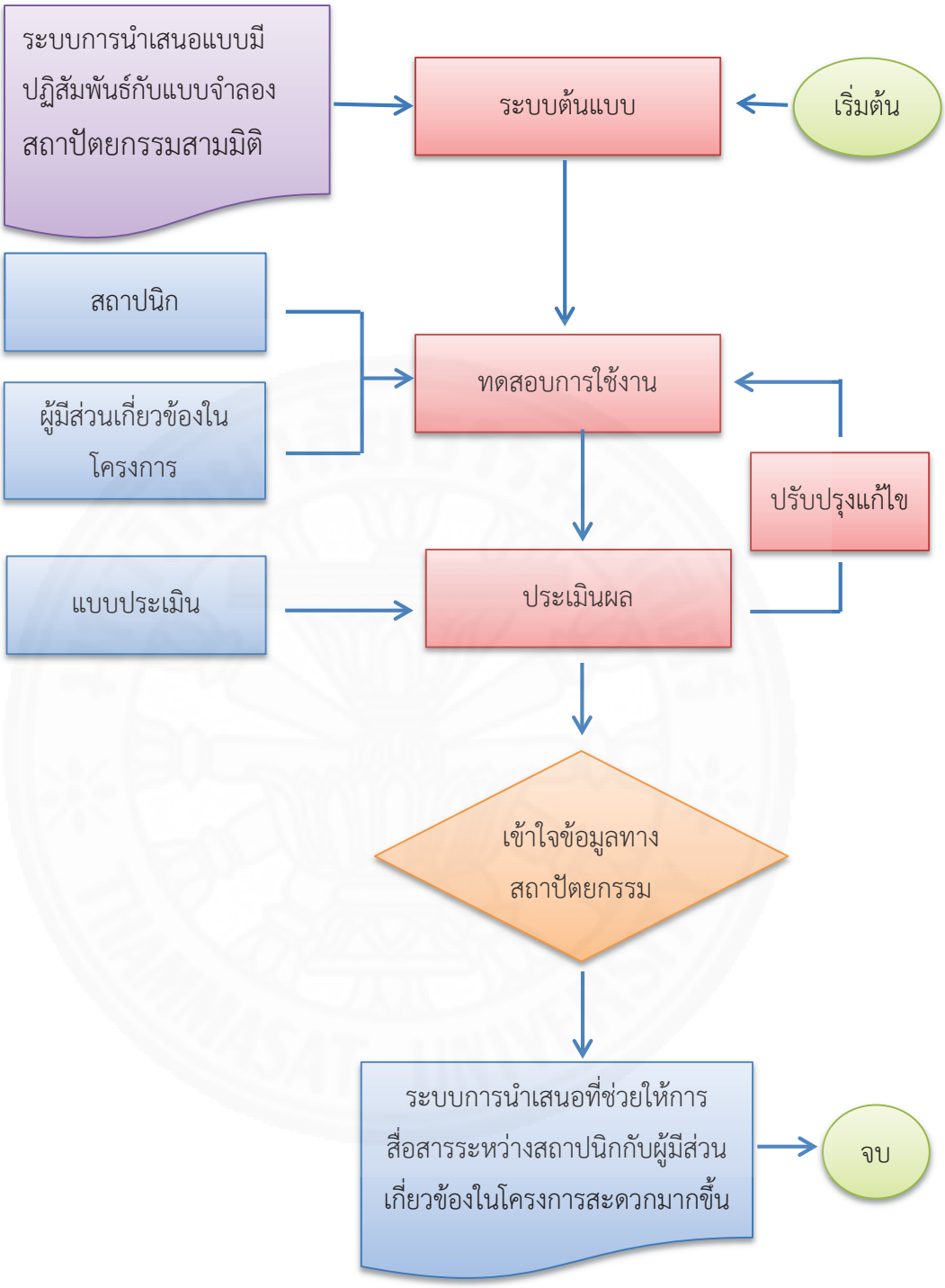
1.8 กรอบแนวความคิดในการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 1.2 แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 1



ภาพที่ 1.3 แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 2



ภาพที่ 1.4 แผนภาพแสดงกรอบแนวความคิดในการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยข้อที่ 3

บทที่ 2
ทฤษฎี แนวคิด งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษา

จากปัญหาของการผิดพลาดระหว่างการสื่อสารของสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในระหว่างช่วงเวลาของการก่อสร้างขั้นตอนต่าง ๆ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงการได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีของการสื่อสาร และรูปแบบในการนำเสนอข้อมูลทางสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยในการสื่อสารข้อมูลระหว่างระสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็น 7 หัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีของการสื่อสาร
2.2 การนำเสนองานสถาปัตยกรรม
2.3 การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์
2.4 การประมวลผลจากภาพ (Image Processing)
2.5 ความเป็นจริงเสมือน (Virtual reality)
2.6 เทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality)
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของการสื่อสาร

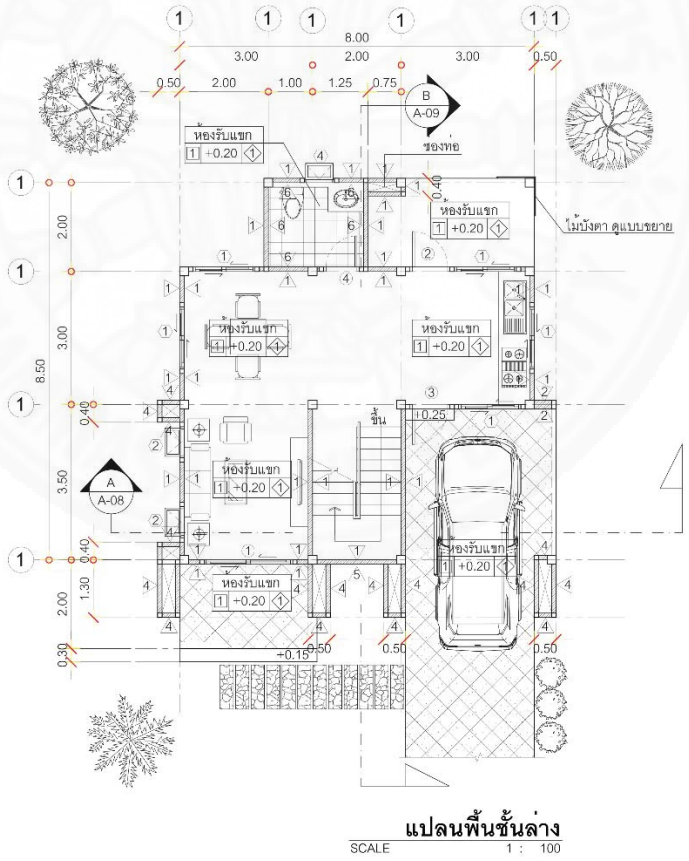
การสื่อสารระหว่างมนุษย์นั้นเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารต่างๆถึงกันโดยผ่านทางวิธีการสื่อสารรูปแบบต่างๆ เพื่อเกิดการมีปฏิสัมพันธ์และการตอบสนองระหว่างกัน ซึ่งอาจนิยามได้ว่า “การสื่อสาร (Communication) เป็นกระบวนการของการถ่ายทอดข่าวสารแบบสองทิศทาง โดยถ่ายทอดข่าวสาร (Massage) จากฝ่ายหนึ่งซึ่งเรียกว่าผู้ส่งสาร (Source) ไปยังบุคคลอีกฝ่ายหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ผู้รับสาร (Receiver) โดยผ่านสื่อ (Channel) และมีการตอบสนองซึ่งกันและกัน มีความสัมพันธ์กันระหว่างสองฝ่าย” (อัญชุลีกร อุดมแก้ว, 2550) ซึ่งการสื่อสารที่ดีนั้น ผู้ส่งสารควรศึกษาและมีความรู้ว่าควรสื่อสารอย่างไรเพื่อให้อีกฝ่ายเข้าใจ และการสื่อสารที่ดีจะช่วยทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ส่วนการสื่อสารที่ล้มเหลว คือ การที่วัตถุประสงค์ที่แสดงความต้องการของผู้ส่งสารและผู้รับสารไม่ตรงกัน

2.2 การนำเสนองานสถาปัตยกรรม

การนำเสนองานสถาปัตยกรรมคือการทำให้การออกแบบทางสถาปัตยกรรมแสดงออกมาเป็นรูปธรรมที่ทำให้ผู้รับรู้ข้อมูลสามารถเข้าใจรูปแบบสถาปัตยกรรมนั้น ๆ ได้ ซึ่งการนำเสนองานสถาปัตยกรรมสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้ผู้วิจัยได้แยกการนำเสนองานสถาปัตยกรรมออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

2.2.1 การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสองมิติ

การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสองมิติ คือการนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยการเขียนภาพสองมิติตามภาพที่ 2.1 เช่น ผังอาคาร รูปด้าน รูปตัด เป็นต้น ซึ่งการนำเสนองานสถาปัตยกรรมในรูปแบบสองมิติทำให้ผู้รับข้อมูลสามารถรู้ถึงระยะทางเรขาคณิตของงานสถาปัตยกรรมและสามารถนำไปใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลอง รวมถึงการสร้างสถาปัตยกรรมขึ้นมาได้



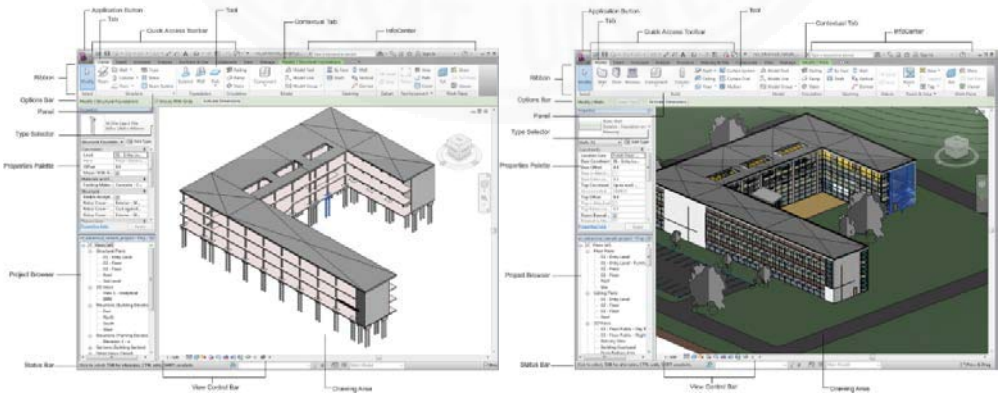
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างแบบผังอาคารสองมิติ

2.2.2 การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสามมิติ

การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสามมิติ คือการนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยการเขียนภาพในมุมมองแบบ Perspective เพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถมองเห็นภาพที่เสมือนจริงใกล้เคียงกับงานออกแบบมากที่สุด ซึ่งการเขียนภาพสามมิตินั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเขียนด้วยมือ หรือการใช้โปรแกรมสร้างภาพสามมิติในการสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมสำหรับการสร้างภาพสามมิติอยู่หลายโปรแกรม เช่น Google Sketch Up , 3D Max , Rhino และโปรแกรมประเภท BIM เช่น Revit หรือ Archicad เป็นต้น

ข้อดีของการใช้การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยภาพสามมิตินั้น คือ การสื่อสารด้วยภาพสองมิตินั้นจะเป็นการนำเสนอภาพด้วยมุมมองประเภท ด้านหน้า, ด้านบน, ด้านข้าง หรือแบบไอโซเมตริก ซึ่งการอ่านผังอาคารสองมิติจากมุมมองเหล่านี้ ผู้รับข้อมูลจำเป็นต้องมีทักษะพื้นฐานในการทำความเข้าใจ เพื่อให้สามารถเข้าใจแบบได้อย่างถูกต้อง แต่การสื่อสารด้วยภาพสามมิติหรือภาพเคลื่อนไหวแบบสามมิตินั้น เป็นมุมมองเสมือนจริงของวัตถุนั้น ๆ จะทำให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าใจภาพรวมและของชิ้นงานได้มากกว่าการดูด้วยภาพสองมิติ

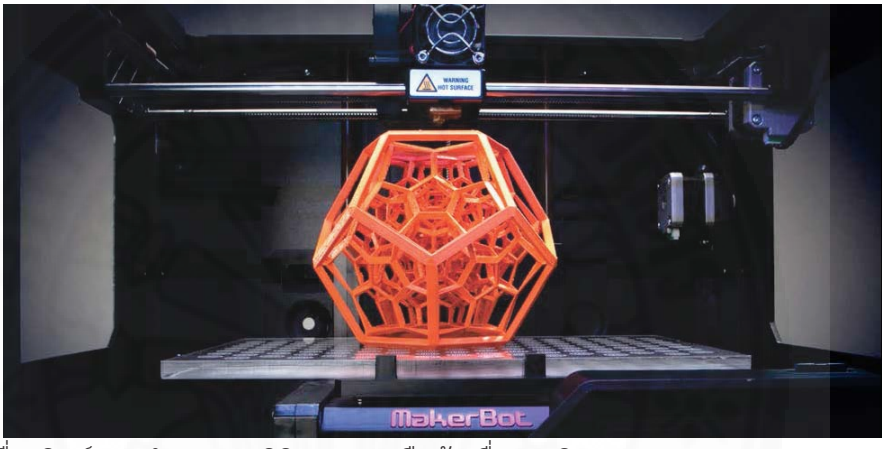
ในปัจจุบันการสร้างแบบจำลองสามมิติมี “โปรแกรมประเภท BIM (Building Information Modeling) หรือการจำลองสารสนเทศอาคารโดยการสร้างแบบจำลองอาคารพร้อมกับข้อมูลหรือสารสนเทศในองค์ประกอบของแบบจำลองอาคารนั้น ๆ” (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) ที่ช่วยในการสร้างแบบจำลองสามมิติพร้อมกับการใส่ข้อมูลของวัสดุต่าง ๆ ลงไปในองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติตามภาพที่ 2.2 เป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรม Revit ซึ่งเป็นหนึ่งในโปรแกรมประเภท BIM และนำแบบจำลองสามมิติไปใช้ในการทำงานขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 2.2 ภาพตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Revit. (2559). สืบค้นเมื่อ 10 มิ.ย. 59 จาก https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/vhelp/help-dev-autodesk-com/v/Revit/enu/2012/Help/Revit-User-s-Guide/0005-Introduc5/0018-User-Int18.html

2.2.3 การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยแบบจำลอง (Model)

การนำเสนองานสถาปัตยกรรมด้วยแบบจำลอง คือการสร้างแบบจำลองของงานสถาปัตยกรรมให้ออกมาเป็นวัตถุทางกายภาพที่สามารถจับต้องได้โดยอ้างอิงจากขนาดจากผังอาคาร เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองขึ้น ซึ่งการทำแบบจำลองทำให้ผู้รับข้อมูลสามารถรับรู้ข้อมูลภายในโลกจริง ซึ่งในปัจจุบันมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยให้การสร้างแบบจำลองมีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้นจากการใช้วัสดุที่คล้ายของจริง หรือการสร้างแบบจำลองด้วยเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้น เช่น เครื่องพิมพ์แบบจำลองสามมิติ (3D Printer) ตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เครื่องพิมพ์แบบจำลองสามมิติ. (2559). สืบค้นเมื่อ 10 มิ.ย. จาก What is 3D Printing & How Do 3D Printers Work? เข้าถึงได้จาก https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/

2.3 การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์

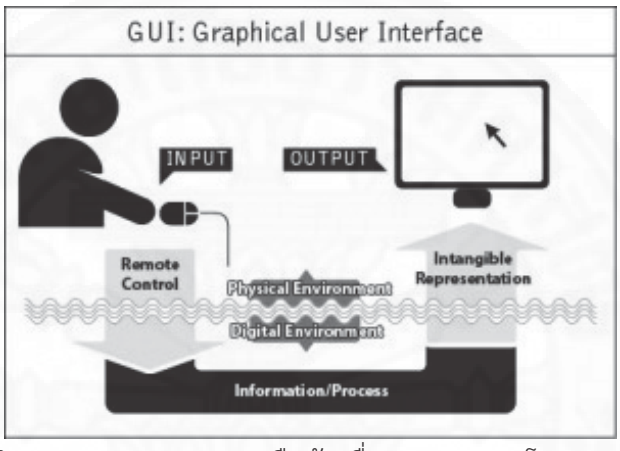
การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (HCI : Human Computer Interaction) เป็นการผสมกันระหว่างการพัฒนาทางเทคโนโลยีกับสังคมศาสตร์เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งรูปแบบของการมีปฏิสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ เพื่อให้มนุษย์สามารถใช้งานข้อมูลดิจิตอลได้สะดวกมากขึ้น

2.3.1 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ (GUI : Graphic User Interface)

ส่วนต่อประสานงานกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ (GUI : Graphic User Interface) เป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ให้สามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางสัญลักษณ์รูปภาพ (Icon) เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม ซึ่งเป็นการพัฒนาการสั่งงานคอมพิวเตอร์จากระบบแรกที่เป็นการสั่งงานด้วยการพิมพ์ชุดคำสั่งที่เป็นแบบตัวอักษร สั่งงานผ่านแป้นพิมพ์ (CUI :

Command User Interface) ปัจจุบันนิยมการใช้ GUI ในการเขียนโปรแกรมมากขึ้นเพราะมีส่วนประกอบหรือสัญลักษณ์ที่เป็นสำเร็จรูปให้เลือก เช่น ปุ่ม หน้าต่าง กล่องข้อความ ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาในการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญลักษณ์เหล่านั้น (Isareeya, 2013)

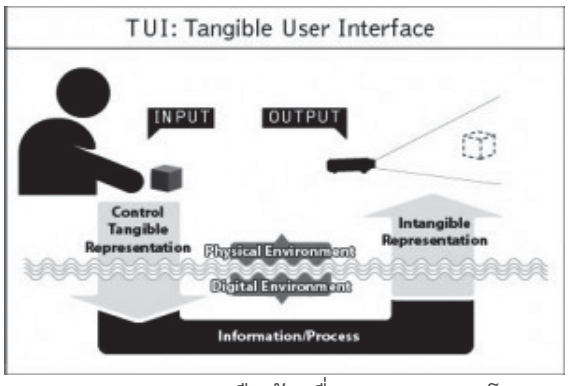
ตามภาพที่ 2.4 คือภาพแสดงการควบคุมระบบ GUI ซึ่งจะทำการควบคุมโดยใช้เมาส์เป็นเหมือนรีโมทคอนโทรลควบคุมผ่านหน้าจอเพื่อเลือกใช้ไอคอนหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ แทนชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการควบคุมสัญลักษณ์ในหน้าจอคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องใช้การสั่งงานผ่านรีโมทคอนโทรล เช่น เมาส์หรือคีย์บอร์ด และผู้ใช้จะรับรู้ผลผ่านสัญลักษณ์ที่แสดงบนหน้าจอ



ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของ GUI. (2008). สืบค้นเมื่อ 12 ก.ย. 58 โดย Susana. เข้าถึงได้จาก http://iconlibrary.iconshock.com/design/from-gui-to-tui/.

2.3.2 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ผ่านทางวัตถุทางกายภาพ (TUI : Tangible User Interface)

ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ผ่านวัตถุทางกายภาพ (TUI : Tangible User Interface) เป็นการให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งการคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์ทางกายภาพที่สามารถจับต้องได้ซึ่งวัตถุนั้นจะถูกใช้แทนที่คำสั่งต่างๆของภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การควบคุมวัตถุทางกายภาพทำให้ผู้ใช้สามารถจัดการ ควบคุมหรือแก้ไขข้อมูลดิจิตอลได้ (Ishii, 1997) ซึ่งหากผู้ออกแบบระบบสามารถออกแบบวัตถุทางกายภาพที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานให้มีความสอดคล้องกับระบบ จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้ได้ระบบสารสนเทศนั้น ๆ ได้ง่ายยิ่งขึ้นตามภาพที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานของ TUI ที่จะใช้วัตถุทางกายภาพเป็นตัวแทนคำสั่งควบคุมซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลดิจิตอลและวัตถุทางกายภาพ การควบคุมวัตถุทางกายภาพจะสั่งผลไปยังข้อมูลดิจิตอลและประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ และนำเสนอออกมาผ่านหน้าจอหรือแสดงภาพลงบนวัตถุทางกายภาพสำหรับควบคุมที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการขยับวัตถุซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นภาพหรือเสียง (Ishii & Ullmer, 1997)



ภาพที่ 2.5 หลักการทำงานของ TUI, (2008). สืบค้นเมื่อ 12 ก.ย. 58 โดย Susana. เข้าถึงได้จาก http://iconlibrary.iconshock.com/design/from-gui-to-tui/.

2.4 การแสดงผลแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

ในการแสดงผลแบบจำลองสามมิติในปัจจุบัน มีการนำแบบจำลองสามมิติมาใช้นำเสนอด้วยวิธีที่แตกต่างกันไปตามเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเทคโนโลยีที่จะช่วยนำเสนอแบบจำลองสามมิติ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานในการนำแบบจำลองสามมิติมาใช้ในการสื่อสารระหว่างกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรม

2.4.1 ความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality)

เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน หมายถึงเทคโนโลยีที่ทำให้มนุษย์รับรู้ถึงสภาพแวดล้อมจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นเพื่อลอกเลียนการรับรู้จากโลกความเป็นจริงให้กลายเป็นโลกเสมือนสามมิติ ความเป็นจริงเสมือนถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่มนุษย์ยากที่จะเข้าถึง หรือเป็นการจำลองเพื่อฝึกฝนเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับสถานการณ์จริงตามภาพที่ 2.6 เช่น การฝึกบิน หรือเกมที่จำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่มีอยู่ในโลกภายนอกเพื่อสร้างประสบการณ์ที่แตกต่างให้แก่ผู้ใช้งาน

ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงการทำงานของระบบ Virtual Reality. จาก *เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม* โดย กิดานันท์ มลิทอง, 2543.

โลกของความเป็นจริงเสมือนเกิดขึ้นจากการสร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์ให้เกิดสภาวะแวดล้อมสามมิติ และการจะรับรู้ประสบการณ์ของโลกความเป็นจริงเสมือนได้เหมือนจริงนั้นจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์เพื่อช่วยให้เข้าถึงข้อมูลและรับรู้ประสบการณ์เหล่านั้นได้

ปัจจุบันอุปกรณ์ที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโลกความจริงเสมือนได้ง่ายนั้นคือแว่นตาสำหรับเข้าถึงข้อมูลโลกความจริงเสมือนที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการมองเห็นภายในโลกความจริงเสมือน ผู้ใช้งานจะได้รับประสบการณ์เหมือนได้เข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นจริง ๆ ซึ่งแว่นตาสำหรับการเชื่อมต่อนี้ปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อรองรับการใช้งานร่วมกับมือถือเพื่อให้ง่ายต่อการพกพา

ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อเข้าสู่ Virtual Reality ยี่ห้อ Oculus Rift. จาก *IGN ASIAN.*, 2014.

ภาพที่ 2.8 อุปกรณ์เชื่อมต่อเข้าสู่ Virtual Reality ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟน. จาก *The Prototype Electronics. ฉบับที่ 45., 2555.*

ภาพที่ 2.9 การทำลองใช้อุปกรณ์สำหรับ Virtual Reality. (2554). สืบค้นเมื่อ 19 ต.ค. 58 จาก https://bitwiredblog.com/2013/05/06

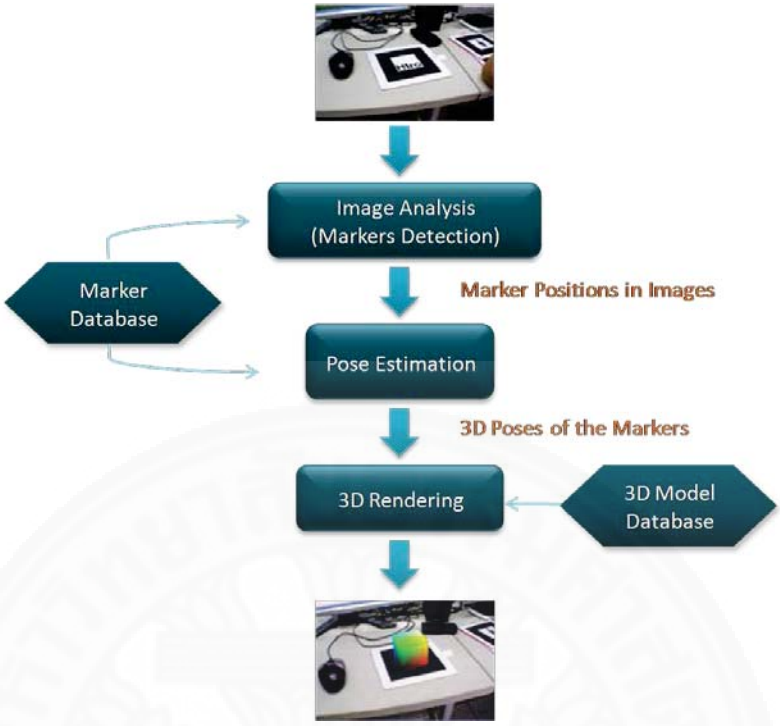
2.4.2 เทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality)

เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถทำให้โลกจริงและโลกเสมือนผสมผสานกันได้ง่ายมากขึ้น เช่น การใช้เทคโนโลยี Augment Reality ซึ่งเป็นการใช้หน้าจอ เชื่อมต่อกับสัญลักษณ์ (Maker) ที่กำหนดไว้เพื่อแสดงผลออกมาเป็นภาพตามเวลาจริง (Real time) ซึ่งทำให้เรามองเห็นภาพสามมิติซ้อนทับลงบนโลกจริงได้อย่างง่ายดาย ซึ่งกระบวนการภายในของเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนตามภาพที่ 2.10 ประกอบด้วย 3 กระบวนการได้แก่

(1) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) เป็นขั้นตอนการค้นหาสัญลักษณ์จากภาพที่ได้จากกล้องแล้วสืบค้นจากฐานข้อมูล (Database) เพื่อนำมาวิเคราะห์

(2) การคำนวณค่าตำแหน่งเชิง 3 มิติ ของสัญลักษณ์เทียบกับกล้อง

(3) การสร้างภาพสามมิติ โดยใช้ค่าตำแหน่งเชิงสามมิติที่คำนวณได้



ภาพที่ 2.10 การทำงานของเทคโนโลยีเสมือนจริง. โดย วสันต์ เกียรติแสงทอง,พรรษพล พรหมมาศ และอนุวัตริ เฉลิมสกุลกิจ, 2552.

การนำเทคโนโลยีผสมผสานระหว่างโลกแห่งความจริงและโลกเสมือนผ่านการใช้ระบบประมวลผลและอุปกรณ์เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลโดยมีองค์ประกอบของระบบตามภาพที่ 2.11 ดังนี้

(1) อุปกรณ์ประเภทสัญลักษณ์ (Marker) คือ เครื่องหมาย, สัญลักษณ์หรือรูปภาพที่ถูกกำหนดไว้ เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากสัญลักษณ์มาแสดงผล

(2) กล้องวีดีโอ, กล้องเว็บแคม, หรืออุปกรณ์ตรวจจับภาพเพื่อนำภาพมาวิเคราะห์ในระบบ

(3) ส่วนแสดงผล เช่น อุปกรณ์เคลื่อนที่ Smart Device, หน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงภาพจากฐานข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์จากสัญลักษณ์ที่ถูกจับภาพได้

(4) ระบบประมวลผล เพื่อประมวลผลจากข้อมูลที่ได้รับและส่งต่อไปยังส่วนแสดงผล

ภาพที่ 2.11 การแสดงภาพสามมิติจากการตรวจจับสัญลักษณ์. สืบค้นเมื่อ 12 ก.ย. 58 จาก https://sipaedumarket.wordpress.com/2014/04/20/augmented-reality-ar-ความจริงต้องขยาย.

2.4.3 เครื่องมือในการสร้างระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนทำได้ง่ายมากขึ้นด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีผู้พัฒนาต่าง ๆ นำออกมาให้ใช้ เช่น Application Layar Application Arusma ซึ่งเป็น application ที่สามารถถ่ายรูปภาพต่าง ๆ เพื่อและอัพโหลดขึ้นฐานข้อมูลเพื่อสร้างสัญลักษณ์ และนำแบบจำลองที่มีให้ใน application มาใช้ทำเพื่อทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน หรือ เว็บไซต์ vuforia เป็นเว็บไซต์เพื่อสร้างสัญลักษณ์เพื่อนำมาใช้ในการสร้างระบบผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนในโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity โดยเฉพาะ

ภาพที่ 2.12 Application Layar ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนได้. สืบค้นเมื่อ 15 มิ.ย. 59 จาก www.layar.com

ภาพที่ 2.13 Application Aurasma ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนได้. สืบค้นเมื่อ 15 มิ.ย. 59 จาก www.aurasma.com

ภาพที่ 2.14 เว็บไซต์ Vuforia ที่สามารถใช้ทำระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนและสนับสนุนการใช้งานบนโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity โดยเฉพาะ สืบค้นเมื่อ 15 มิ.ย. 59 จาก www.layar.com

2.5 การประมวลผลจากภาพ (Image Processing)

ระบบการทำงานของคอมพิวเตอร์นอกจากจะมีการประมวลผลข้อมูลจากการสั่งงานด้วยคนโดยใช้เมาส์ คีย์บอร์ดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ (GUI) หรือการควบคุมด้วยวัตถุทางกายภาพ (TUI) ยังมีการสั่งงานให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูลได้จากการใช้ภาพ (Image Processing) เพื่อให้คอมพิวเตอร์นำภาพดังกล่าวไปประมวลผลออกมาเป็นผลลัพธ์เพื่อนำไปใช้งานรวมกับข้อมูลอื่นต่อ หรือนำการประมวลผลที่ได้มาแสดงเป็นข้อมูลกำหนดไว้ในรูปแบบอื่น ๆ

เทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงกับโลกเสมือนก็จำเป็นต้องใช้การเชื่อมโยงระหว่างการประมวลผลจากภาพและการประมวลผลภายในระบบเพื่อให้สามารถนำข้อมูลจากภาพมาใช้ตรวจสอบสัญลักษณ์เพื่อเป็นเหมือนกุญแจในการดึงข้อมูลแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูล

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนต่างๆที่สำคัญตามภาพที่ 2.3 คือ

(1) Image acquisition คือการนำภาพเข้า โดยอาจจะมีการประมวลผลก่อน (preprocessing) เช่นปรับขนาดของภาพ การลดสัญญาณรบกวน

(2) Image enhancement คือการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น โดยทำให้รายละเอียดที่ไม่ชัดเจนให้มีความชัดเจนขึ้น

(3) Image restoration คือการทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิม หรือการปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการมองเห็น

(4) Color image processing คือการประมวลผลภาพสี ซึ่งภาพสีได้มีการใช้อย่างกว้างขวาง โดยจะมีการใช้รูปแบบของสี และการแยกคุณลักษณะที่สำคัญของภาพที่สนใจ

(5) Image Compression คือการบีบอัดข้อมูลภาพ จะทำให้ภาพมีขนาดเล็กลง

(6) Morphological processing ก็คือการประมวลผลด้านโครงสร้าง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การแยกส่วนประกอบของภาพเพื่อใช้ในการแสดง รูปร่าง

(7) Segmentation การแบ่งส่วนของภาพ

(8) Recognition การรับรู้และจดจำข้อมูลและรูปแบบของคอมพิวเตอร์

ซึ่งขั้นตอนต่างๆของการประมวลภาพเพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาดรูปร่างและทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือ ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนน ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น ระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูงคอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาช่วยในการทำงานเหล่านี้

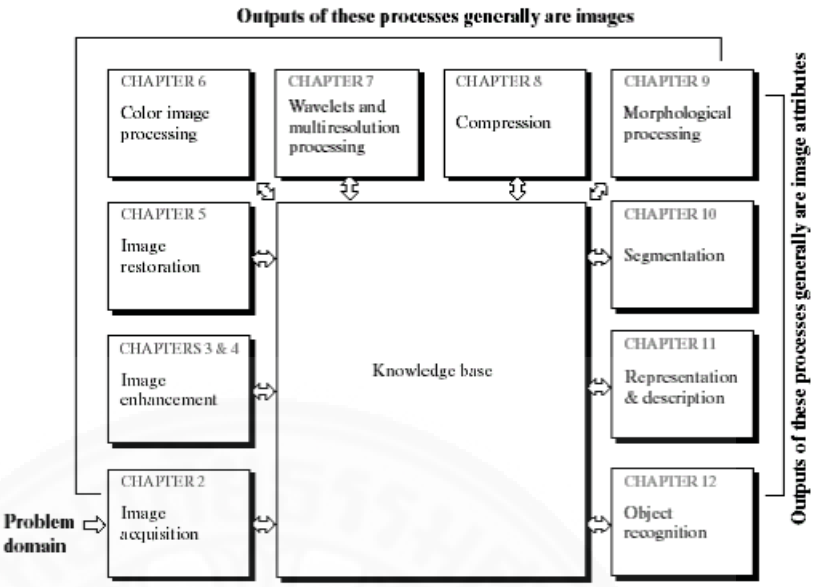


FIGURE 1.23
Fundamental steps in digital image processing.

ภาพที่ 2.15 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ Image Processing. From *Digital Image Processing*, By Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (p.1-28), 1992.

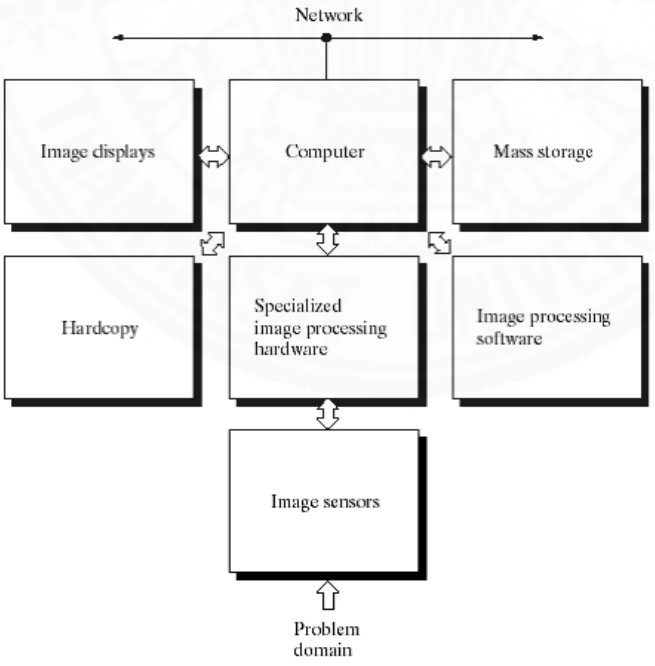
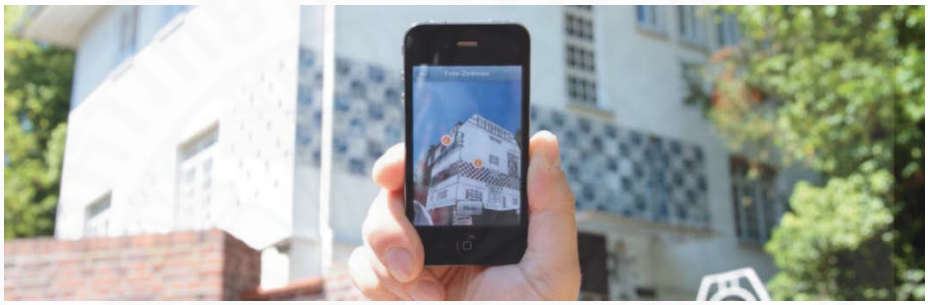


FIGURE 1.24
Components of a general-purpose image processing system.

ภาพที่ 2.16 แผนผังแสดงการทำงานของระบบ Image Processing(2). From *Digital Image Processing,* By Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (p.1-28), 1992.

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัย The House of Olbich - An Augmented Reality Tour through architecture history (Keil J., Zollner M., et Al. 2010) เป็นโครงการที่วิจัยการทดลองสร้างฐานข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติ ของอาคารเก่าในเมือง และใช้ Smart Device ในการถ่ายรูปและตรวจสอบข้อมูลของอาคารตามภาพที่ 2.17 ซึ่งการทดลองนี้ใช้เทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) เพื่อนำแบบจำลอง 3 มิติที่ได้ทำไว้ในฐานข้อมูลมาซ้อนทับลงบนอาคารจริง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นแบบจำลองอาคารเดิมที่ถูกทำเป็นแบบจำลอง 3 มิติได้ และมีการเลือกดูข้อมูลผ่าน Smart Device ได้

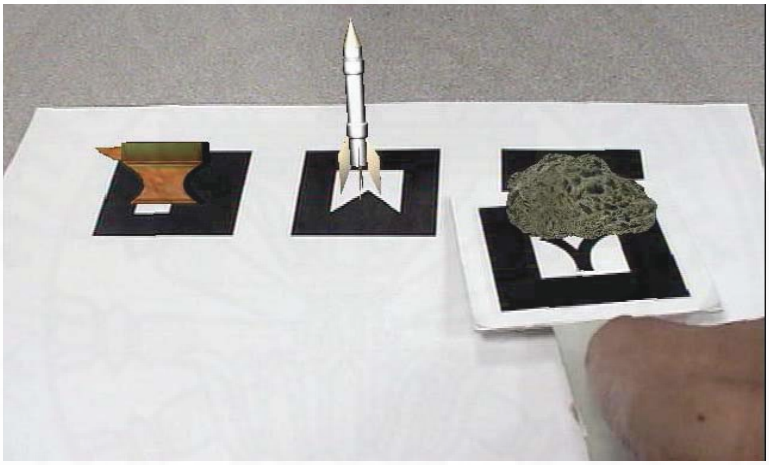


ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างการทำงานของระบบ จาก *The House of Olbrich - An Augmented Reality Tour through architectural history* (น.15) โดย Keil J., Ollner Z. M., et. AL, 2010.

เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลอาคารเดิมที่เคยตั้งอยู่บริเวณนี้และสามารถดูข้อมูลของอาคารผ่านทั้งผังอาคารของอาคารหรือประวัติการก่อสร้างของแบบจำลองสามมิติผ่าน Smart Device ได้ ตามภาพที่ 2.18

ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการทำงานของระบบ จาก *The House of Olbrich - An Augmented Reality Tour through architectural history* (น.16) โดย Keil J., Ollner Z. M., et. AL, 2010.

โครงการวิจัย 3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality (Prince S., Cheok D. A., et. AL. 2005) เป็นโครงการวิจัยเกี่ยวกับการทดลองใช้เทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน ซึ่งผู้ใช้งานระบบจะถูกแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้เทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงและโลกเสมือนตามภาพที่ 2.19 ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนขึ้น และกลุ่มที่ต้องใช้แว่นตาที่เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับโลกเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นโดยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน โดยกลุ่มผู้ใช้งานกลุ่มที่ 1 จะเป็นผู้ควบคุมสภาพแวดล้อมเสมือน และผู้ใช้งานในกลุ่มที่ 2 จะเชื่อมต่อเข้ากับโลกเสมือนของวัตถุที่ถูกสร้างขึ้นภายในโลกเสมือนได้ตามภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์ จาก *3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality* (น.370) โดย Prince S., Cheok D. A., et. AL, 2007.

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างการใช้สัญลักษณ์ จาก *3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality* (น.370) โดย Prince S., Cheok D. A., et. AL, 2007.

ตามภาพที่ 2.20 เมื่อกลุ่มผู้ใช้งานทั้งสองกลุ่มทำงานร่วมกันจะเกิดการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงและโลกเสมือนและสภาพแวดล้อมเสมือน ทำให้ทั้งสองกลุ่มสามารถสื่อสารกันผ่านแบบจำลองสามมิติที่ได้จดจำค่าไว้ผ่านสัญลักษณ์และควบคุมการสร้างแบบจำลองได้

โครงการวิจัย 4D Building Information Modelling with Augmented Reality on Mobile Devices to Support Construction Management (Jay Vaii, 2014.) เป็นโครงการวิจัยเกี่ยวกับการทดลองใช้เทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน เพื่อใช้นำเสนอข้อมูลแบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมประเภท BIM โดยนำแบบจำลองสามมิติที่ได้มาใช้นำเสนอขั้นตอนในการก่อสร้างอาคาร เพื่อดูขั้นตอนและตรวจสอบตารางเวลาในการก่อสร้างตามภาพที่ 2.21 ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจบโครงการ

ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างการใช้งานระบบดูตารางเวลาการก่อสร้าง จาก *4D Building Information Modelling with Augmented Reality on Mobile Devices to Support Construction Management* (น.100) โดย Jay Vai, 2015.

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยประเภทการศึกษาวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยมุ่งเน้นเพื่อสร้างระบบการนำเสนองานสถาปัตยกรรมแบบมีปฏิสัมพันธ์กับระบบด้วยภาพสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) และสร้างระบบการแก้ไขและควบคุมแบบจำลองสามมิติอย่างง่ายเพื่อให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการสามารถรับรู้ข้อมูลทางสถาปัตยกรรมและสามารถใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อสนับสนุนการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการให้สามารถเข้าใจข้อมูลทางด้านสถาปัตยกรรมร่วมกันได้อย่างถูกต้อง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนออกแบบและพัฒนาการทำงานหลักของระบบ

การพัฒนาและทดสอบระบบในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อสร้างระบบการนำเสนอ โดยนำข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) และการประมวลผลจากภาพ (Image Processing) โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีต่างๆดังนี้

(1) กระบวนการทางสถาปัตยกรรมในด้านการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ

(2) กระบวนการทางสถาปัตยกรรมในด้านการนำเสนองานสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน

(3) เทคโนโลยีเกี่ยวกับกระบวนการของการประมวลผลจากภาพ (Image Processing)

(4) เทคโนโลยีเกี่ยวกับกระบวนการสร้างภาพสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน

หลังจากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ข้างต้น จึงได้รวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของระบบ

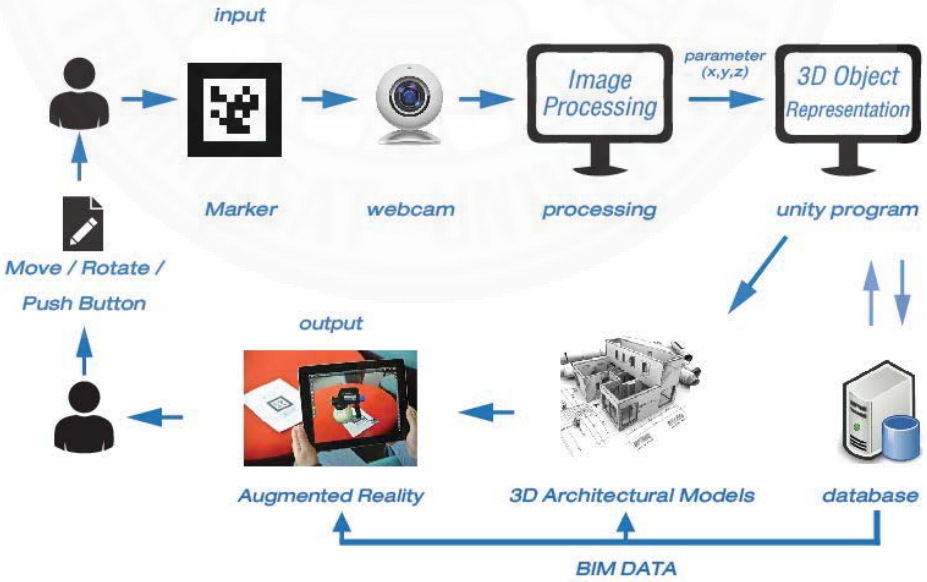
3.1.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบ

โครงสร้างและการทำงานของระบบตามภาพที่ 3.1 ได้ออกแบบจากการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีใช้ในปัจจุบัน (พ.ศ.2558) มาประยุกต์กับวิธีการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรมพื้นฐานระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อนำมาออกแบบโครงสร้างการทำงานของระบบ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

(1) ส่วนควบคุม คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานสามารถควบคุมวัตถุเพื่อส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผล ซึ่งในที่นี้วัตถุที่ใช้ในการควบคุมข้อมูลคือ กระดาษสัญลักษณ์ (Marker) และบนกระดาษจะมีสัญลักษณ์ต่างๆที่มีการจดจำข้อมูลลงบนฐานข้อมูลและระบบสามารถประมวลผลได้ว่าสัญลักษณ์ที่กำหนดขึ้นหมายถึงแบบจำลองสามมิติแบบใด หรือคำสั่งแบบใด ซึ่งผู้ใช้งานสามารถ เลื่อน หมุน ขยับหรือเปิด-ปิดแบบจำลอง 3 มิติ แต่ละประเภทที่สัญลักษณ์ (Marker) จดจำข้อมูลไว้ เพื่อควบคุมการทำงานของเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality) ได้

(2) ส่วนประมวลผล คือ ส่วนที่คอมพิวเตอร์สามารถรับภาพข้อมูลสัญลักษณ์ต่างๆที่ถูกกำหนดไว้และนำมาประมวลผลเพื่อแสดงข้อมูลในรูปแบบของแบบจำลองสามมิติ

(3) ส่วนแสดงผล คือ ส่วนที่นำผลลัพธ์จากการะประมวลผลในส่วนประมวลผลมาแสดงภาพแบบจำลองสามมิติเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นและมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองได้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการพัฒนาระบบแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนชุดคำสั่ง (Software) และส่วนอุปกรณ์ (Hardware)

ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

จากการศึกษาอุปกรณ์ในการสร้างระบบการนำเสนอแบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน ชุดคำสั่งที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาระบบคือโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity เนื่องจากผู้พัฒนาระบบสามารถแก้ไขดัดแปลงแบบจำลองสามมิติ และสามารถดัดแปลงชุดคำสั่งให้ตรงตามความต้องการได้ และยังมีเว็บไซต์ Vuforia ที่เป็นเว็บไซต์ซึ่งสนับสนุนการสร้างสัญลักษณ์เพื่อใช้ในระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนสำหรับโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity โดยเฉพาะอีกด้วย จึงสรุปชุดคำสั่งที่ใช้ในการพัฒนาระบบได้ดังนี้

(1) แบบจำลองสามมิติจากโปรแกรมประเภท BIM

(2) เว็บไซต์สำหรับสร้างสัญลักษณ์ (www.Vuforia.com)

(3) โปรแกรมเกมเอนจิ้นยูนิตี้ (Unity)

ส่วนอุปกรณ์ (Hardware)

ชุดอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้พัฒนาระบบคือ ชุดอุปกรณ์ที่สามารถรองรับการทำงานของระบบที่ส่งออกมาจากส่วนชุดคำสั่ง และเหมาะสมในกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรมเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน จึงสรุปชุดคำสั่งที่ใช้ในการพัฒนาระบบได้ดังนี้

(1) คอมพิวเตอร์ที่มีกล้อง webcam ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลข้อมูลภาพที่ได้รับมาจากกล้อง webcam และนำมาประมวลผลในระบบผ่านซอฟแวร์

(2) อุปกรณ์เคลื่อนที่ (Smart Device) เพื่อสำหรับเปิดโปรแกรมประยุกต์ (Application) ของระบบในการทดสอบการจับภาพสัญลักษณ์และสร้างแบบจำลองสามมิติ

3.3 ขั้นตอนการประเมินผลระบบ

เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในการรับรู้ข้อมูลงานสถาปัตยกรรมร่วมกันจากการใช้งานระบบ โดยประเด็นที่จะนำมาประเมิน แบ่งเป็น 2 ประเด็นคือ

(1) ประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ**ที่**พัฒนาขึ้นจากการทดสอบการใช้งานระบบเพื่อดูข้อมูลทางสถาปัตยกรรมกับแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน โดยจะประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากความเข้าใจในการใช้งานเพื่ออ่านข้อมูลและควบคุมแบบจำลองสามมิติโดยกลุ่มผู้ใช้งาน

(2) ประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสารและความเข้าใจที่ตรงกันของกลุ่มผู้ใช้งานในการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้การประเมินจากการวัดระยะเวลาในการสื่อสารระหว่างกลุ่มผู้ใช้งานและใช้แบบประเมินเพื่อประเมินความเข้าใจที่ตรงกันระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน

3.4 กลุ่มหน่วยทดลอง

กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานระบบที่จะนำมาประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยแบ่งกลุ่มหน่วยทดลองออกเป็น 3 กลุ่มคือ

(1) กลุ่มสถาปนิก

(2) กลุ่มผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

(3) บุคคลทั่วไป

โดยการประเมินประสิทธิภาพการสื่อสารด้วยวิธีทำการทดลองและจับเวลาเปรียบเทียบการสื่อสารระหว่างการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับแบบผังอาคารจะใช้กลุ่มหน่วยทดลอง 2 กลุ่มคือ สถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้วยวิธีการใช้แบบสอบถามความคิดเห็นจะใช้กลุ่มหน่วยทดลอง 3 กลุ่ม คือ สถาปนิก ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง และบุคคลทั่วไป

3.5 วิธีการประเมินประสิทธิภาพระบบที่พัฒนาขึ้น

การประเมินงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ผลประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน และประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน โดยผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการประเมินประสิทธิภาพระบบออกเป็น 2 วิธี ดังต่อไปนี้

3.5.1 การทดสอบจับเวลาในการทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบระหว่างการใช้แบบผังอาคารในการสื่อและกับการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในการสื่อสารข้อมูลทาง

สถาปัตยกรรม โดยวิธีการทดลองคือให้กลุ่มหน่วยทดลองสื่อสารระหว่างกัน โดยใช้การจับเวลาในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการสื่อสารเพื่อหาประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลอง

3.5.2 การใช้แบบสำรวจความคิดเห็น เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น และประเมินถึงระยะเวลาที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างกลุ่มเป้าหมายที่เป็นสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาในด้านการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรม ซึ่งผู้ประเมินจะประเมินว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาและทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือไม่

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ

(1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) โดยใช้การวิเคราะห์จากการรวบรวมข้อมูลลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นของการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ ซึ่งจะสามารถนำมาจัดลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยในระหว่างการสื่อสารได้

(2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) โดยวิเคราะห์จากประสิทธิภาพในการใช้งานระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาด้านการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรมระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ โดยใช้การวัดระยะเวลาในการสื่อสารระหว่างกลุ่มผู้ใช้งานเพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้งานระบบและประสิทธิภาพในการสื่อสาร

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนาระบบจะเห็นได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยเป็นระบบการนำเสนอแบบจำลองสามมิติเพื่อการให้ข้อมูลของงานสถาปัตยกรรมและใช้ในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกลุ่มที่เป็นสถาปนิกและผู้ใช้งานที่เป็นกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการที่ไม่มีความเชี่ยวชาญในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยระบบจะถูกออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่าย โดยการพัฒนาระบบจะต้องใช้การเชื่อมโยงระหว่างส่วนอุปกรณ์และส่วนชุดคำสั่งเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามจุดประสงค์ของงานวิจัย โดยสามารถสรุปเนื้อหาของผลการวิจัยออกมาได้ดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบระบบ

4.1.1 ภาพรวมของระบบ

4.1.2 ภาพรวมการทำงานของระบบฐานข้อมูล

4.1.3 ภาพรวมการทำงานของผู้ใช้งาน

4.2 การพัฒนาระบบสารสนเทศ

4.2.1 กระบวนการใช้งานระบบ

4.2.2 การเตรียมข้อมูลบนฐานข้อมูลระบบที่พัฒนาขึ้น

4.2.3 การแสดงผลต่อผู้ใช้งาน

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.3.1 การทดลองกับกลุ่มผู้ใช้งาน

4.3.2 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้วยแบบสอบถามความคิดเห็น

4.3.3 ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน

4.1 การออกแบบระบบ

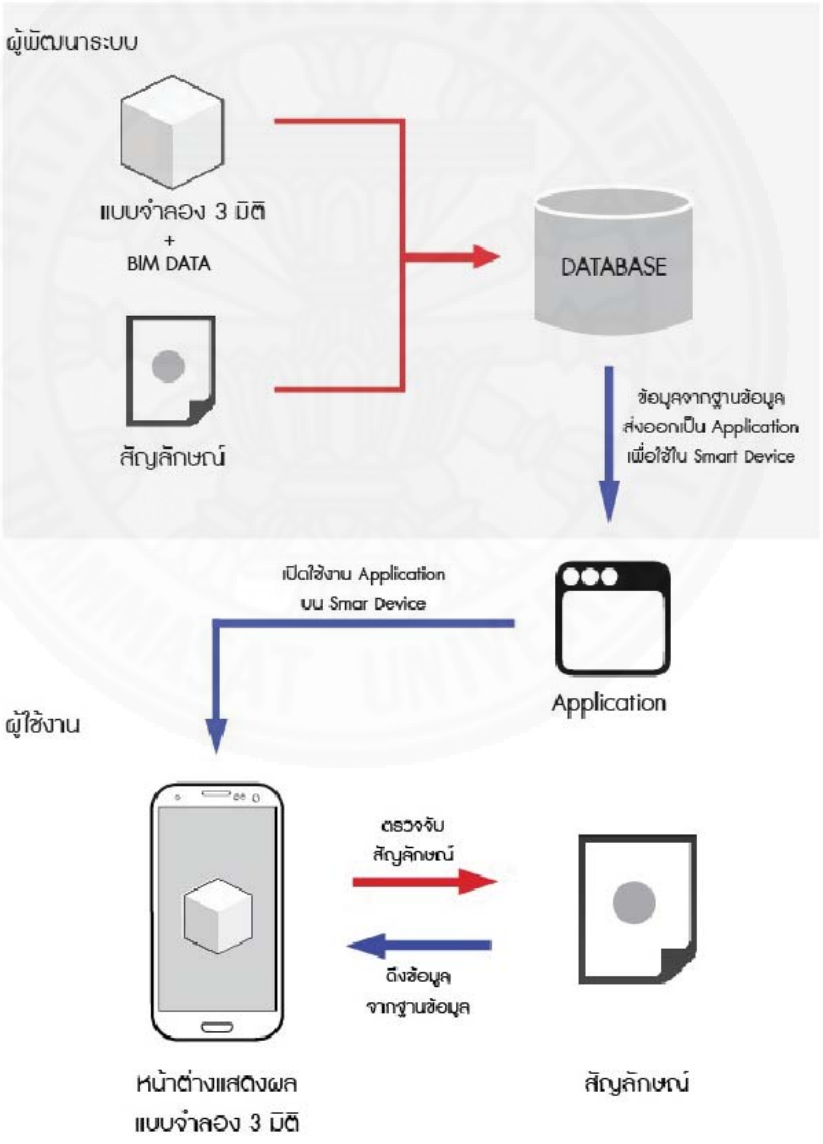
การออกแบบและพัฒนาระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน มีการออกแบบการพัฒนาระบบดังนี้

4.1.1 ภาพรวมของระบบ

การออกแบบและพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นผู้วิจัยได้แบ่งโครงสร้างการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ตามภาพที่ 4.1 คือ

(1) การออกแบบฐานข้อมูล สำหรับผู้พัฒนาระบบในการเตรียมรับแบบจำลองสามมิติและข้อมูลของวัสดุต่างๆที่มากับแบบจำลองสามมิติ เพื่อทำงานเชื่อมต่อกับสัญลักษณ์และจดจำข้อมูลเพื่อแสดงผลด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนต่อไป

(2) การออกแบบหน้าต่างแสดงผล สำหรับผู้ใช้งานในการใช้งาน Application เพื่อเรียกดูข้อมูลแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลที่ได้เตรียมข้อมูลไว้



ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของระบบ

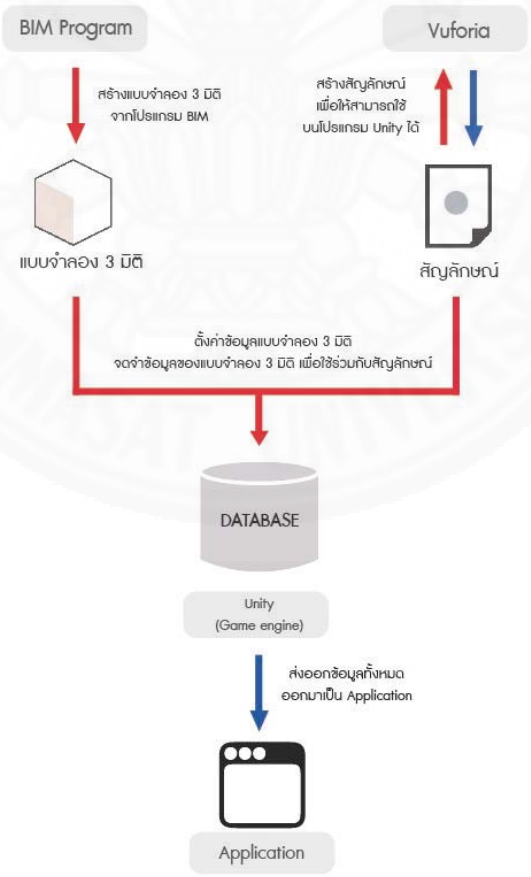
4.1.2 ภาพรวมการทำงานของระบบฐานข้อมูล

การทำงานของระบบฐานข้อมูล จะเป็นการทำงานเชื่อมต่อกันระหว่างระบบ แบ่งการเชื่อมต่อและการทำงานของระบบออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ตามภาพที่ 4.2 คือ

(1) การนำแบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม BIM มาเพื่อใช้งานในระบบที่พัฒนาขึ้น

(2) การเตรียมสัญลักษณ์ โดยการนำภาพที่ต้องการใช้เป็นสัญลักษณ์อัพโหลดขึ้นบนเว็บไซต์ www.Vuforia.com ที่เป็นเว็บไซต์สำหรับสร้างสัญลักษณ์สำหรับการผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน เพื่อเตรียมสัญลักษณ์ไปใช้ร่วมกับโปรแกรม Unity

(3) การเตรียมข้อมูลของแบบจำลองบนโปรแกรม Unity คือการนำแบบจำลองสามมิติที่ได้จากโปรแกรม BIM และสัญลักษณ์ที่เตรียมไว้ไปตั้งค่าบนโปรแกรม Unity เพื่อให้เกิดการจดจำข้อมูลและส่งออกข้อมูลทั้งหมดออกมาเป็น Application บน Smart Device เมื่อติดตั้งแล้วจะสามารถดึงข้อมูลของการตรวจจับสัญลักษณ์และการแสดงผลแบบจำลองสามมิติออกมาได้



ภาพที่ 4.2 ภาพรวมการทำงานของระบบฐานข้อมูล

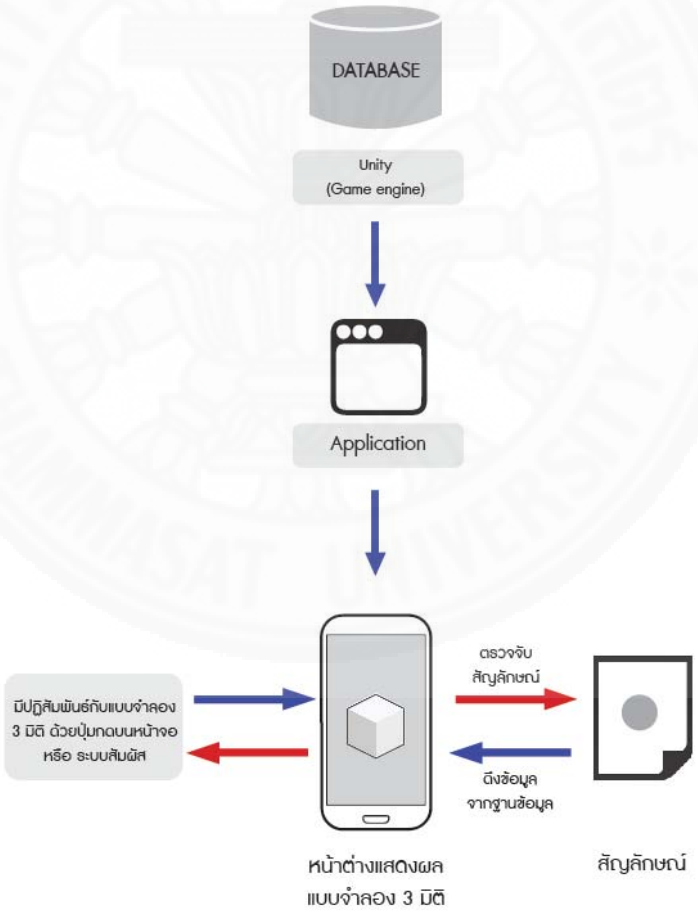
4.1.3 ภาพรวมการทำงานของผู้ใช้งาน

การทำงานของผู้ใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นจะเป็นออกเป็น 3 ส่วน ตามภาพที่ 4.3 คือ

(1) การติดตั้ง Application บน Smart Device

(2) การตรวจจับสัญลักษณ์ ผู้ใช้งานจะต้องมีสัญลักษณ์ที่ตรงกับฐานข้อมูลที่ได้ตั้งค่าไว้เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับและแสดงผลออกมาได้อย่างถูกต้อง

(3) การควบคุมแบบจำลองสามมิติ หลังจากระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับสัญลักษณ์ที่ตรงกับฐานข้อมูลได้แล้ว จะแสดงผลการซ้อนทับแบบจำลองสามมิติลงบนสัญลักษณ์ โดยผู้ใช้งานสามารถดูการแสดงผลผ่านหน้าจอ Smart Device และสามารถควบคุมแบบจำลองสามมิติได้จากปุ่มกดบนหน้าจอหรือการใช้ระบบสัมผัสเพื่อควบคุมและเข้าถึงข้อมูลของแบบจำลองสามมิติตามที่ต้องการได้



ภาพที่ 4.3 การออกแบบภาพรวมการทำงานของผู้ใช้งาน

4.2 การพัฒนาของระบบสารสนเทศ

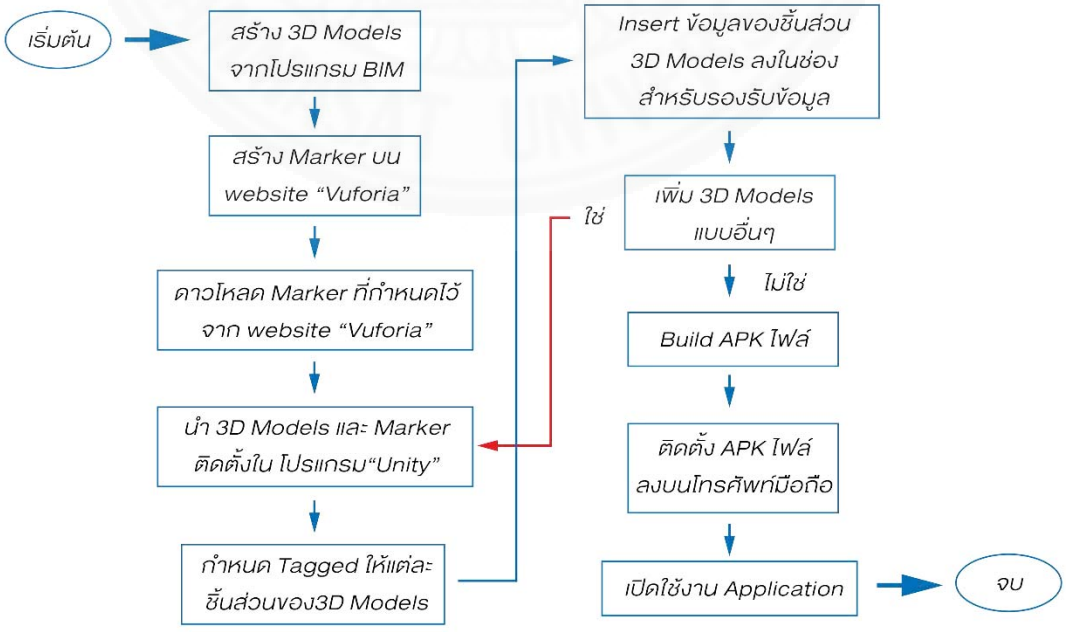
4.2.1 กระบวนการใช้งานระบบ

ภาพรวมการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นตามภาพที่ 4.4 ที่แสดงผลผ่าน Smart Device ต้องอาศัยเครื่องมือที่ช่วยเชื่อมโยงการทำงานของระบบ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

(1) โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นบนโปรแกรม Revit ซึ่งเป็นหนึ่งในโปรแกรมประเภท BIM (Building Information System) และนำแบบแบบจำลองสามมิติที่มีข้อมูลของส่วนประกอบต่างๆตามแบบสถาปัตยกรรมและตามแบบการก่อสร้างที่ได้มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการแสดงผลในระบบที่พัฒนาขึ้น

(2) เว็บไซต์สำหรับสร้างสัญลักษณ์ (www.Vuforia.com) เป็นเว็บไซต์สำหรับนำภาพสัญลักษณ์อัพโหลดขึ้นฐานข้อมูลเพื่อนำรหัสข้อมูลภาพที่ได้มาใช้ในการจดจำข้อมูลร่วมกับแบบจำลองสามมิติภายในฐานข้อมูลของโปรแกรม Unity เพื่อสร้างระบบผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน

(3) เกมเอนจิ้นยูนิตี้ (Unity) ทำหน้าที่ในการนำแบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติมาจดจำลงในฐานข้อมูล และนำข้อมูลจากแบบจำลองสามมิติมาจดจำลงบนสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ เพื่อให้ระบบสามารถจดจำข้อมูลของสัญลักษณ์ร่วมกับแบบจำลองสามมิติ และเมื่อระบบตรวจเจอสัญลักษณ์ดังกล่าวจะสามารถแสดงแบบจำลองสามมิติออกซ้อนทับบนสัญลักษณ์ โดยหลังจากตั้งค่าฐานข้อมูลแล้วโปรแกรม Unity จะมีฟังก์ชันในการสร้าง Application เพื่อเปิดใช้งานระบบบน Smart Device เพื่อความสะดวกในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน

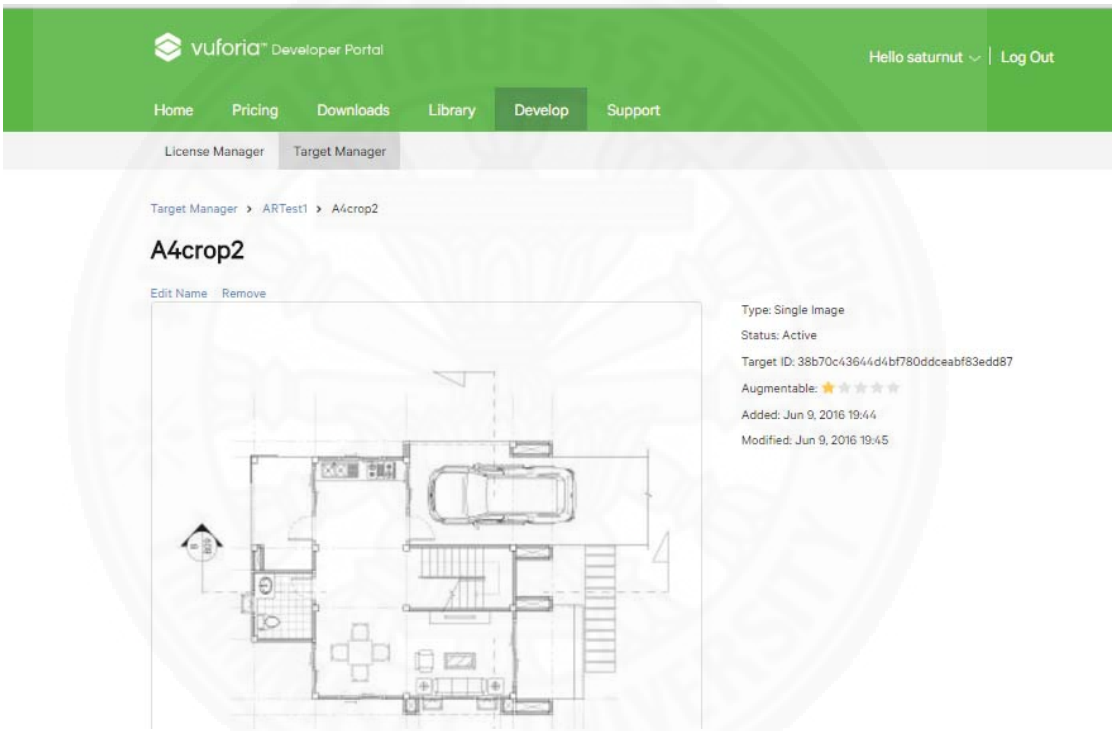


ภาพที่ 4.4 กระบวนการใช้งานระบบ

4.2.2 การเตรียมข้อมูลบนฐานข้อมูลระบบที่พัฒนาขึ้น

ภาพรวมการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นที่แสดงผลผ่าน Smart Device ดังนั้นต้องอาศัยเครื่องมือที่ช่วยเชื่อมโยงการทำงานของระบบ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

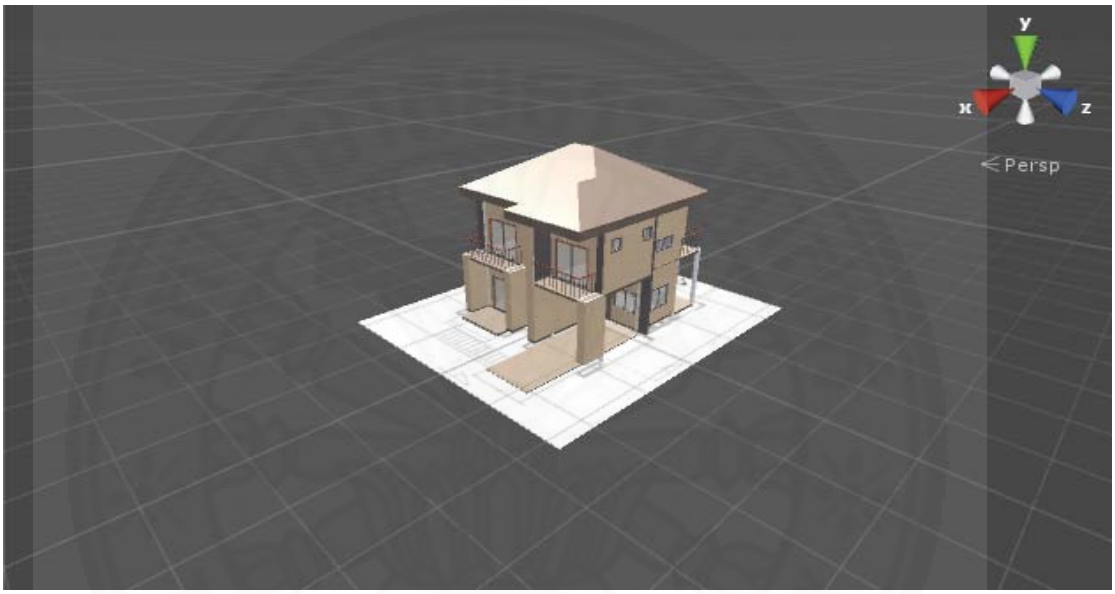
(1) การเตรียมสัญลักษณ์เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม Unity ซึ่งการเตรียมสัญลักษณ์ผู้พัฒนาระบบจะเลือกใช้ผังอาคารของอาคารที่มีแบบจำลองสามมิติ และนำภาพผังอาคารดังกล่าวอัพโหลดขึ้นเว็บไซต์ www.Vuforia.com ตามภาพที่ 4.5 ซึ่งรองรับการสร้างฐานข้อมูลสัญลักษณ์และสามารถนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนในโปรแกรม Unity โดยเฉพาะ



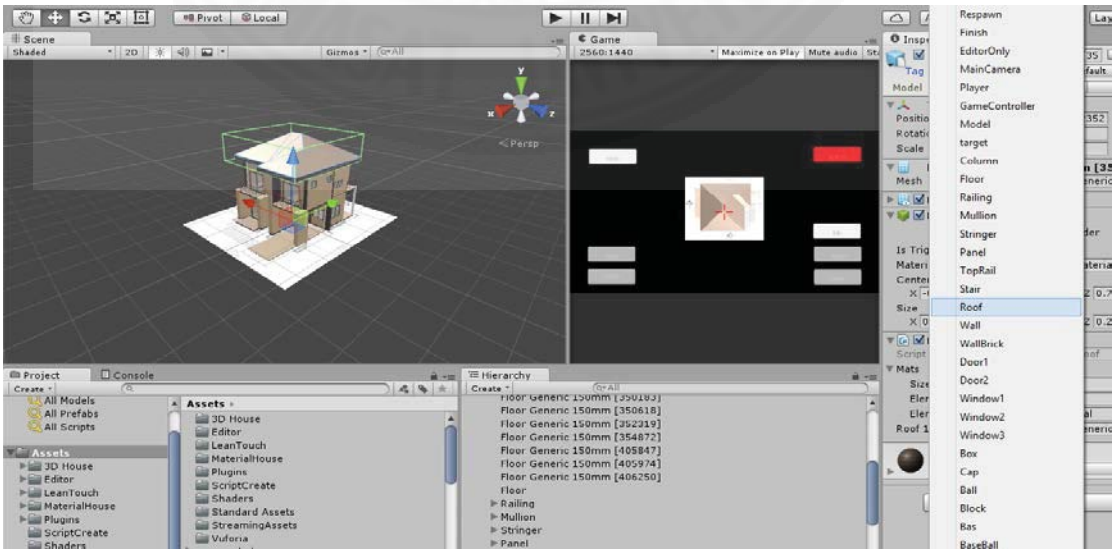
ภาพที่ 4.5 การเตรียมสัญลักษณ์บนเว็บไซต์ Vuforia. (2559). สืบค้นเมื่อ 3 พ.ค. 59 จาก www.vuforia.com

(2) การเตรียมแบบจำลองสามมิติ การเตรียมแบบจำลองสามมิติ ผู้พัฒนาระบบจะใช้แบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม BIM ตามภาพที่ 4.6 เนื่องจากมีการใส่ข้อมูลจำเพาะของวัสดุหรือขนาดของวัสดุมาภายในแบบจำลองสามมิติโดยผู้วิจัยได้เลือกนำข้อมูลจำเพาะมาตรฐานของวัสดุมาใช้ในระบบ คือ ชื่อ ประเภท และขนาดของวัสดุ เพื่อให้ชิ้นส่วนแบบจำลองมีข้อมูลจำเพาะทำให้สามารถนำมาใช้ในการแสดงผลข้อมูลในระบบที่พัฒนาขึ้นได้

(3) การนำสัญลักษณ์และแบบจำลองสามมิติมาเชื่อมโยงค่าบนฐานข้อมูล หลังจากที่ทำการอัพโหลดสัญลักษณ์ที่ต้องการขึ้นบนเว็บไซต์ www.Vuforia.com จะได้รหัสสำหรับนำมาตั้งค่าในโปรแกรม Unity และนำแบบจำลองสามมิติที่เตรียมไว้มาตั้งค่าของข้อมูลวัสดุต่าง ๆ และตั้งค่า Tagged คือการตั้งค่าเพื่อบอกประเภทของชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติเพื่อให้ระบบสามารถแยกประเภทขององค์ประกอบแบบจำลองสามมิติตามภาพที่ 4.7 และระบบจะตรวจสอบว่า Tagged ที่ถูกตั้งค่าไว้นั้นจะกำหนดให้แสดงผลข้อมูลออกมาในรูปแบบใด



ภาพที่ 4.6 การนำแบบจำลองสามมิติมาใช้ร่วมกับสัญลักษณ์ในระบบที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 4.7 การตั้งค่า Tagged เพื่อแยกประเภทขององค์ประกอบแบบจำลองสามมิติ

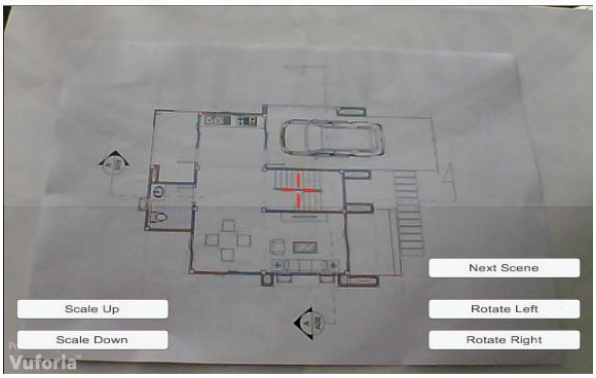
4.2.3 การแสดงผลต่อผู้ใช้งาน

การแสดงผลต่อผู้ใช้งานของระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะของ Application บน Smart Device เพื่อให้ผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถใช้งานผ่าน Smart Device ของตนเองและสามารถควบคุมแบบจำลองสามมิติเพื่อดูข้อมูลของแบบจำลองสามมิติได้ โดยผู้ใช้งานจะต้องนำ Application ติดตั้งบน Smart Device และเปิดใช้งาน Application เพื่อให้ Smart Device สามารถรับข้อมูลของระบบและนำข้อมูลของแบบจำลองที่ถูกตั้งค่าไว้มาแสดงผล

โดยโปรแกรมประยุกต์อื่นที่ได้ศึกษามา จะเน้นไปที่การนำแบบจำลองสามมิติจากโปรแกรมประเภท BIM มาใช้งานเพื่อการดูแบบจำลองสามมิติเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลอง หรือแสดงข้อมูลจำเพาะของแบบจำลองได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงเพิ่มฟังก์ชั่นในการแสดงผลข้อมูลจำเพาะของแบบจำลองสามมิติ และการเลือกชิ้นส่วนหรือตีกรอบพื้นที่ของแบบจำลองสามมิติเพื่อเพิ่มการมีปฏิสัมพันธ์และช่วยในการสื่อสารด้วยระบบมากยิ่งขึ้น

การออกแบบอินเตอร์เฟสของระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จึงแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยปุ่มกด การควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยระบบสัมผัสของ Smart Device การแสดงผลรายละเอียดของแบบจำลองสามมิติ การชี้เลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ และการสร้างกรอบเป้าหมายลงบนแบบจำลองสามมิติ

โดยการเริ่มต้นการทำงานของระบบ ผู้ใช้งานจะต้องมีสัญลักษณ์ที่ได้กำหนดไว้ในฐานข้อมูล และใช้ Smart Device ในการตรวจจับสัญลักษณ์ตามภาพที่ 4.8 เมื่อระบบสามารถตรวจจับสัญลักษณ์ที่กำหนดได้จะเป็นการเรียกหาแบบจำลองสามมิติจากฐานข้อมูลตามภาพที่ 4.9 และเริ่มการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น



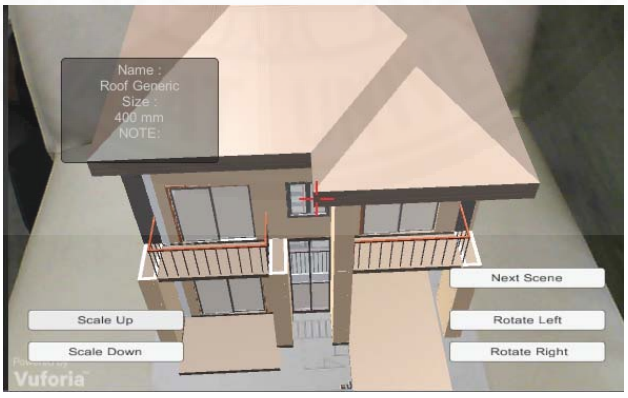
ภาพที่ 4.8 การตรวจจับหาสัญลักษณ์เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติ

ภาพที่ 4.9 การตรวจจับหาสัญลักษณ์เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติ (2)

4.2.3.1 การควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยปุ่มกดบนหน้าจอแสดงผล

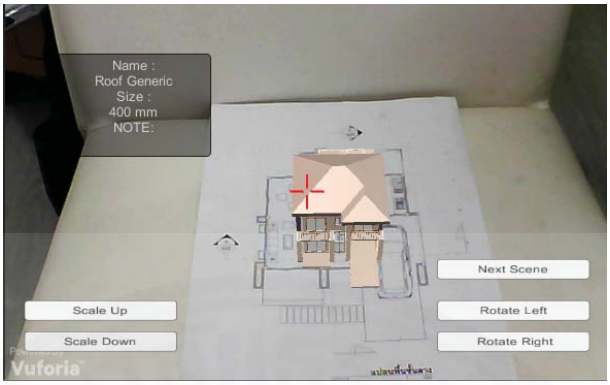
ในส่วนนี้เป็นหน้าหลักของระบบที่พัฒนาขึ้นที่จะแสดงปุ่มกดบนหน้าจอโทรศัพท์เพื่อบอกถึงฟังก์ชั่นต่างๆที่สามารถควบคุมแบบจำลองสามมิติได้ ซึ่งการทำงานของระบบคือการนำ Tagged ของกลุ่มแบบจำลองที่ตั้งไว้ว่า Model เป็นตัวกำหนดว่าแบบจำลองชิ้นที่ถูกตั้งค่าว่า Model จะสามารถขยายขนาดหรือหมุนตามปุ่มกดได้ โดยระบบจะให้แบบจำลองสามมิติที่ถูกตั้งค่าขยายขนาดด้วยความเร็วโดยมีค่าตัวแปรเฉพาะ (ในโปรแกรม Unity คือ 0.1f) และหมุนตามแกน x ไปตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาโดยแต่ละฟังก์ชั่นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ปุ่ม Scale Up หมายถึง การขยายขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามภาพที่ 4.10



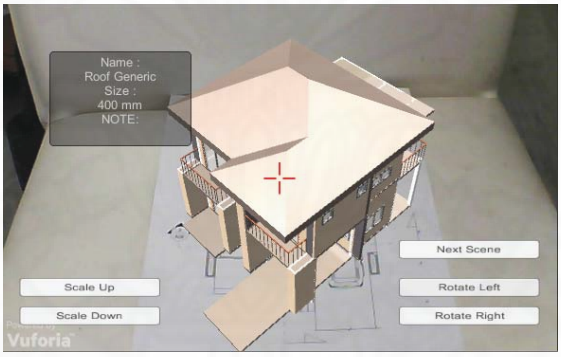
ภาพที่ 4.10 การขยายขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดเล็กลงด้วยการกดปุ่ม Scale Up

(2) ปุ่ม Scale Down หมายถึง การย่อขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดเล็กลงตามภาพที่ 4.11



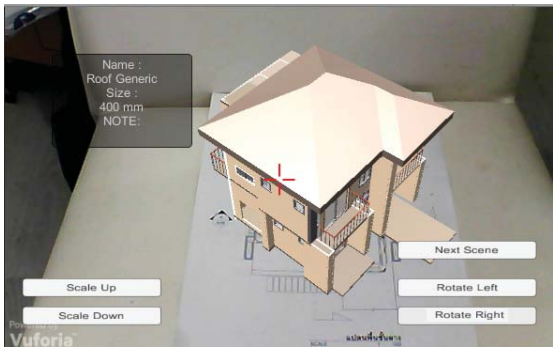
ภาพที่ 4.11 การย่อขนาดของแบบจำลองสามมิติให้มีขนาดเล็กลงด้วยการกดปุ่ม Scale Down

(3) ปุ่ม Rotate Left หมายถึง การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาตามภาพที่ 4.12



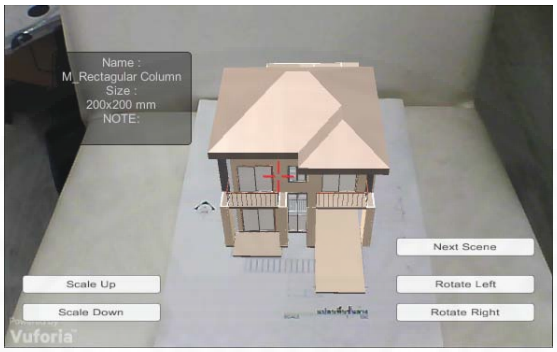
ภาพที่ 4.12 การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาด้วยการกดปุ่ม Rotate Left

(4) ปุ่ม Rotate Right หมายถึง การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางามเข็มนาฬิกาตามภาพที่ 4.13

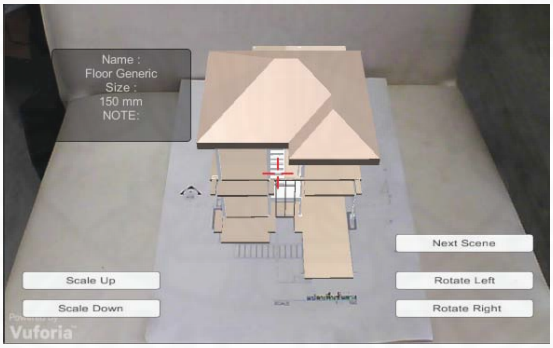


ภาพที่ 4.13 การหมุนแบบจำลองสามมิติไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยการกดปุ่ม Rotate Right

(5) ปุ่ม Next Scene หมายถึง การเปลี่ยนแบบจำลองสามมิติไปเป็นแบบจำลองสามมิติอีกรูปแบบหนึ่ง โดยการทำงานของระบบคือ ปุ่มกดจะถูกตั้งค่าไว้ให้เมื่อมีการกดปุ่ม ค่า String ของ Scene จะถูกเพิ่มขึ้นทีละ 1 โดยเริ่มจาก Scene0 และแบบจำลองสามมิติจะถูกวางไว้ใน Scene ละ 1 ชิ้น เมื่อต้องการเพิ่มแบบจำลอง ต้องเพิ่ม Scene เพื่อวางแบบจำลองสามมิติที่ได้กำหนดไว้ เช่น Scene ที่ 1 แสดงอาคารทั้งหลังและ Scene ที่ 2 แสดงเฉพาะโครงสร้างของอาคารเป็นต้น ตามภาพที่ 4.14 – ภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแบบจำลองสามมิติไปยังแบบจำลองสามมิติอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้กำหนดไว้ด้วยการกดปุ่ม Change Scene

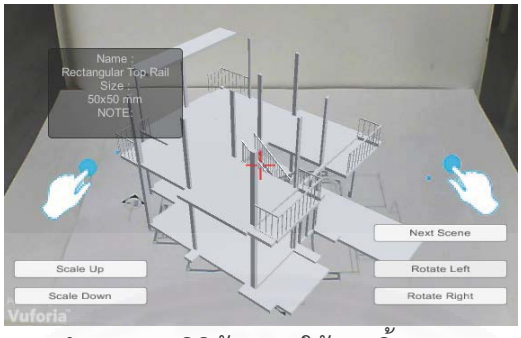


ภาพที่ 4.15 แบบจำลองสามมิติที่ถูกเปลี่ยนรูปแบบตามที่กำหนดไว้จากการกดปุ่ม Change Scene

4.2.3.2 การควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยระบบสัมผัสของ Smart Device

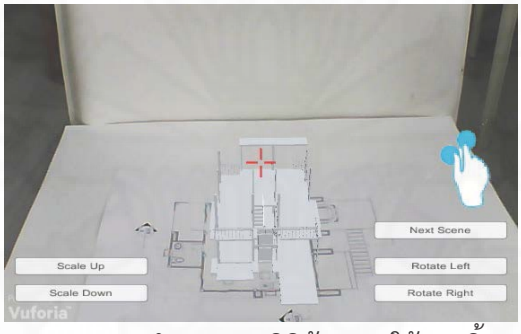
การควบคุมแบบจำลองสามมิติอีกวิธีหนึ่งโดยการใช้ระบบสัมผัสบน Smart Device โดยเป็นการควบคุมด้วยระบบสัมผัสทางกายภาพด้วยการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Gesture Control) โดยการทำงานของระบบจะคล้ายกับปุ่มกดเพื่อหมุนแบบจำลองสามมิติ โดยหมุนไปตามแกน x โดยหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาซึ่งจะมีฟังก์ชั่นในการใช้งานแบ่งเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

(1) ใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและหมุนพร้อมกัน หมายถึง การหมุนแบบจำลองสามมิติตามภาพที่ 4.16

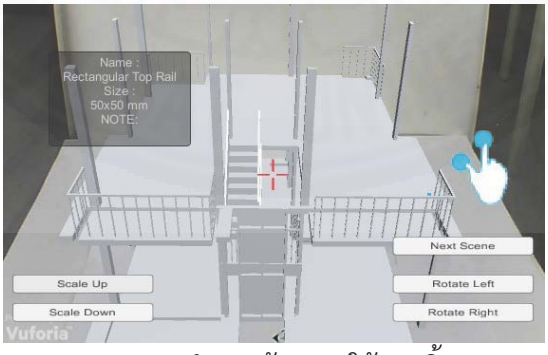


ภาพที่ 4.16 การหมุนแบบจำลองสามมิติด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและหมุนพร้อมกัน

(2) ใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและเลื่อนเข้าออกในทิศทางตรงกันข้าม หมายถึง การย่อหรือขยายขนาดของแบบจำลองสามมิติตามภาพที่ 4.17 – ภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.17 การย่อขนาดของแบบจำลองสามมิติด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอเลื่อนเข้าหากัน



ภาพที่ 4.18 การขยายขนาดของแบบจำลองด้วยการใช้สองนิ้วกดลงบนหน้าจอและเลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม

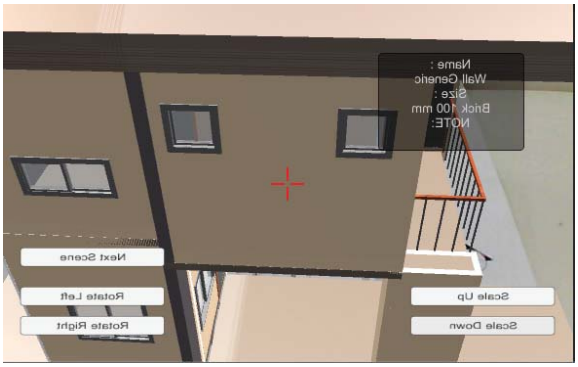
4.2.3.3 กาแสดงผลรายละเอียดของแบบจำลองสามมิติ

การแสดงผลรายละเอียดของแบบจำลองสามิติเริ่มต้นจากการแสดงปุ่มกดบนหน้าจอ Smart Device และจะตรวจจับหาสัญลักษณ์เพื่อแสดงแบบจำลองสามมิติเมื่อตรวจเจอ

สัญลักษณ์จะแสดงแบบจำลองสามมิติขึ้น และสามารถแสดงรายละเอียดของแบบจำลองต่างๆที่ได้ถูกกำหนดไว้ โดยใช้เป้าบริเวณกลางหน้าจอ (Crosshair) โดยการทำงานของระบบคือ ชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติแต่ละชิ้น จะถูกตั้งค่า Tagged ตามประเภทของชิ้นส่วนเพื่อให้ระบบสามารถดึงข้อมูลจำเพาะของชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติที่มาจากการส่งออกแบบจำลองสามมิติมาจากโปรแกรมประเภท BIM เช่น ชิ้นส่วนประเภทเสา จะต้องกำหนด Tagged เป็น Column หรือ ชิ้นส่วนประเภทกำแพง จะต้องกำหนด Tagged ให้เป็น Wall เพื่อกำหนดจุดที่จะให้แบบจำลองสามมิติแสดงรายละเอียดต่างๆ โดยผู้วิจัยได้เลือกข้อมูลจำเพาะมาตรฐานในวัสดุของโปรแกรมประเภท BIM มาใช้แสดงในระบบที่พัฒนา คือ ชื่อ ประเภท และขนาดของวัสดุ ภาพที่ 4.19 – ภาพที่ 4.21

ภาพที่ 4.19 การแสดงายละเอียดของเสาในแบบจำลองสามมิติ

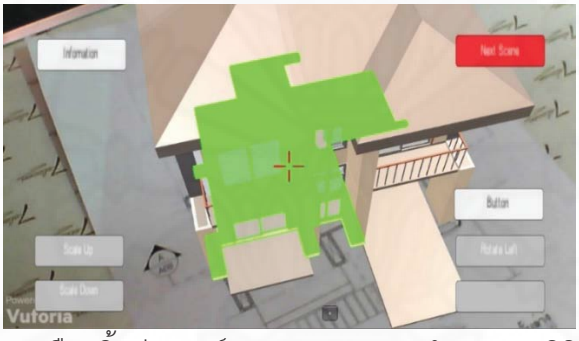
ภาพที่ 4.20 การแสดงายละเอียดของประตูในแบบจำลองสามมิติ



ภาพที่ 4.21 การแสดงายละเอียดของผนังในแบบจำลองสามมิติ

4.3.3.4 การชี้เลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ

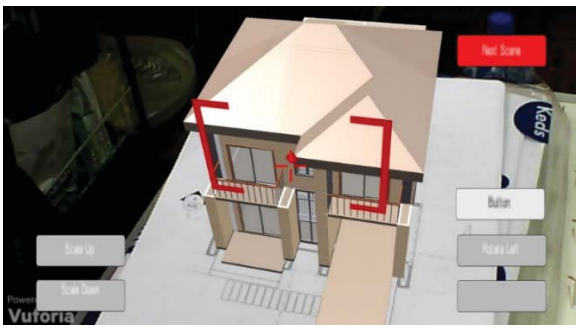
เป็นการใช้ปุ่มกดเพื่อเรียกฟังก์ชันการเลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ ให้สามารถเลือกชิ้นส่วนนั้น ๆ และเน้นเป็นสีให้มองเห็นง่ายขึ้น เพื่อให้ผู้ที่ต้องการสื่อสารสามารถเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการและนำภาพที่ได้ส่งต่อข้อความเพื่อให้อีกฝ่ายทราบถึงชิ้นส่วนที่ต้องการสื่อสารนั้น ๆ เช่น ต้องการสื่อสารว่าพื้นชั้นที่ 1 มีปัญหาเกิดขึ้น ผู้ใช้งานก็จะใช้ Crosshair วางไปที่พื้นชั้นที่ 1 และกดปุ่มเพื่อเลือกชิ้นส่วนนั้นให้เด่นขึ้นมาจากชิ้นส่วนอื่นๆ โดยการทำงานของระบบเพื่อทำการเลือกชิ้นส่วน โดยผู้พัฒนาจะต้องใส่วัสดุสองแบบให้กับชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติ โดยวัสดุที่ 1 คือวัสดุตามจริงที่ต้องการแสดงผล และวัสดุที่ 2 คือวัสดุที่มีสีแตกต่างจากปกติและสามารถมองทะลุชิ้นส่วนอื่นๆออกมาได้ โดยระบบจะมองหา Tagged ของชิ้นส่วนที่ต้องการเลือกและจะทำการเปลี่ยนสีวัสดุจากแบบที่ 1 ไปเป็นแบบที่ 2 เพื่อให้ชิ้นส่วนที่ถูกเลือกมีสีที่แตกต่างไปจากชิ้นส่วนอื่นๆ ตามภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 การเลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ

4.3.3.5 การสร้างกรอบเป้าหมายลงบนแบบจำลองสามมิติ

เป็นการใช้ปุ่มกดเพื่อเรียกฟังก์ชันการสร้างกรอบเป้าหมายลงบนแบบจำลองสามมิติเพื่อจำกัดพื้นที่ที่ต้องการเลือกบนแบบจำลองสามมิติ โดยการจำกัดพื้นที่ลงบนแบบจำลองสามมิติจะถูกใช้เมื่อการเลือกชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติด้วยฟังก์ชันการชี้เลือกแบบจำลองเลือกได้แต่วัตถุที่ชิ้นใหญ่เกินไป แต่ผู้ใช้งานต้องการที่จะตีกรอบวัตถุให้เล็กลงกว่านั้นหรือต้องการตีโดยที่ไม่ต้องการเลือกชิ้นส่วนแบบจำลองทั้งหมด เช่น ผู้ใช้งานต้องการเลือกพื้นที่แค่บางส่วนบนผนัง การใช้ฟังก์ชันการชี้เลือกแบบจำลองจะทำการเลือกผนังทั้งหมด ผู้ใช้งานจะสามารถใช้ฟังก์ชันสร้างกรอบเป้าหมาย เพื่อจำกัดพื้นที่บนชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติได้ โดยการทำงานของระบบคือ ระบบจะตรวจสอบหาพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติ และเมื่อกดปุ่มฟังก์ชันสร้างกรอบเป้าหมาย ระบบจะสร้างกรอบขึ้นบนพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ Crosshair ได้วางไว้ขึ้นตามภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 การสร้างกรอบเป้าหมายลงบนแบบจำลองสามมิติ

4.3.3.5 การสื่อสารหลังจากการใช้งานระบบ

ระบบที่พัฒนาในปัจจุบัน หลังจากการใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ในการเลือกชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติ หากผู้ใช้งานทั้งสองคนไม่ได้อยู่ใกล้กัน ผู้ใช้งานจะต้องทำงานถ่ายรูปหน้าจอแสดงผล เพื่อนำรูปภาพดังกล่าวไปใช้ในการสื่อสารระหว่างกัน โดยใช้ส่งรูปภาพผ่านทางโซเชียลมีเดียต่าง ๆ เช่น Line หรือ E-mail

4.3 การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการสื่อสารระหว่างกระบวนการทางสถาปัตยกรรม ซึ่งในกระบวนการทางสถาปัตยกรรมในช่วงระหว่างการก่อสร้างจะมีความผิดพลาดที่เกิดระหว่างการก่อสร้างที่เกิดจากความเข้าใจที่ไม่ตรงกันในการสื่อสาร ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของระบบที่พัฒนาขึ้นจึงเน้นไปที่การประเมินการใช้งานในช่วงของการก่อสร้างอาคาร โดยวิธีการวัดประสิทธิภาพของการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นจากการทดลองใช้งานจริงของผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการประเมินออกเป็น 2 วิธีคือ การประเมินจากการทดลองการใช้งานของระบบกับผู้ใช้งานในกลุ่มเป้าหมาย และแบบประเมินความคิดเห็นในการใช้งานระบบของผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมายถึงความสามารถในการช่วยในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย

โดยการกำหนดกลุ่มเป้าหมายกำหนดจากกลุ่มคนที่มีการสื่อสารระหว่างการก่อสร้างและมีแก้ไขแบบก่อสร้าง คือ สถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง โดยคุณสมบัติขั้นต้นของกลุ่มเป้าหมายที่เลือกมามีดังนี้

คุณสมบัติของสถาปนิกผู้ทำแบบประเมิน

(1) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ

(2) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานจริงไม่ต่ำกว่า 2 ปี

(3) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การใช้แบบจำลองสามมิติเพื่อการสื่อสารระหว่างการทำงานในช่วงการก่อสร้างอาคาร

คุณสมบัติของผู้ควบคุมงานก่อสร้างผู้ทำแบบประเมิน

(1) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานจริงไม่ต่ำกว่า 2 ปี

(2) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การใช้แบบจำลองสามมิติเพื่อการสื่อสารระหว่างการทำงานในช่วงการก่อสร้างอาคาร

4.3.1 การทดลองการใช้งานระบบ

ในการประเมินนี้ใช้วิธีการกำหนดโจทย์ในการสื่อสารเพื่อวัดผลประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างกลุ่มผู้ใช้งานด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการสื่อสารของวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันและการสื่อสารด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย

การทดลองในงานวิจัย เป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้งานระบบในสถานการณ์จริง ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มหน่วยทดลองจำนวน 4 คน คือ สถาปนิก จำนวน 2 คน และผู้ควบคุมการก่อสร้าง จำนวน 2 คน โดยให้จับคู่กันระหว่างสถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีการทดลองคือการเปรียบเทียบผลเวลาในการสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลอง 2 วิธี คือ (1) การสื่อสารด้วยวิธีที่นิยมในปัจจุบันคือการสื่อสารผ่านผังอาคารของงานสถาปัตยกรรมและผังอาคารของงานก่อสร้าง (2) การสื่อสารผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย โดยผู้วิจัยจะให้กลุ่มหน่วยทดลองเรียนรู้ผังอาคารสถาปัตยกรรมที่เตรียมไว้ให้ และเรียนรู้การใช้งานของระบบที่พัฒนาขึ้นก่อนการทดลอง และในระหว่างการทดลองผู้วิจัยจะเป็นผู้สังเกตการณ์ทดลองและสรุปผลการทดลองเพื่อให้การทดลองบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โจทย์ในการทดลองสำหรับหน่วยทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการสื่อสาร ผู้วิจัยได้ตั้งโจทย์ในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ข้อ คือ (1) หาตำแหน่งของเสาขนาด 300*300 มิลลิเมตร ในอาคาร (2) หาตำแหน่งของหน้าต่างขนาด 610*610 มิลลิเมตร ทุกชิ้นในอาคาร (3) บอกประเภทและขนาดของประตูที่ผู้วิจัยกำหนด (4) บอกประเภทและขนาดของหน้าต่างที่ผู้วิจัยกำหนด

โดยในการทดลองกลุ่มหน่วยทดลองที่ 1 ผู้วิจัยจะให้กลุ่มหน่วยทดลองใช้แบบผังอาคารของงานสถาปัตยกรรมเป็นตัวกลางในการสื่อสารรอบแรก โดยเริ่มจับเวลาเมื่อมีการพูดคุยระหว่างสถาปนิกกับผู้ควบคุมงานก่อสร้าง และผู้วิจัยจะหยุดจับเวลาเมื่อการสื่อสารโดยสถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้างเข้าใจตรงกัน และให้ทำการทดสอบรอบที่สองด้วยการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น โดยจะให้กลุ่มหน่วยทดลองที่ 2 จะทำการทดลองคล้ายกับกลุ่มหน่วยทดลองที่ 1 แต่จะทดลองโดยเริ่ม

จากการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในการทดสอบรอบแรก และตามด้วยการใช้แบบผังอาคารในการทดสอบรอบที่สอง

การทดลองกับกลุ่มหน่วยทดลองที่ 1

การทดลองรอบที่ 1 การทดลองสื่อสารด้วยผังอาคาร ในการทดลองสถาปนิกจะใช้ผังอาคารของอาคารในการสื่อสารโจทย์กับผู้ควบคุมงานก่อสร้างให้เข้าใจตรงกัน โดยสถาปนิกใช้ปากกาวงลงบนแบบผังอาคารในการบอกถึงจุดที่ต้องการสื่อสารบนแบบผังอาคาร กลุ่มหน่วยทดลองใช้เวลาในการทำโจทย์และสื่อสารให้เข้าใจตรงกันใช้เวลารวมทั้งหมด 19 นาที

ภาพที่ 4.17 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 1 ผ่านผังอาคาร

ภาพที่ 4.18 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 1 ผ่านผังอาคาร (2)

การทดลองรอบที่ 2 การทดลองด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นในการสื่อสารโจทย์กับผู้ควบคุมงานก่อสร้างโดยใช้การพูดคุยระหว่างการใช้งานระบบ และใช้การถ่ายรูปหน้าจอ Smart Device และส่งต่อรูปให้ผู้ควบคุมงานก่อสร้างผ่านโซเชียลมีเดียในการสื่อสารเพื่อให้สามารถไปใช้ในหน้างานต่อได้ กลุ่มเป้าหมายใช้เวลาในการทำโจทย์และสื่อสารให้เข้าใจตรงกันใช้เวลารวมทั้งหมด 13 นาที

ภาพที่ 4.20 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 1 ผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย

ภาพที่ 4.21 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 1 ผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย (2)

การทดลองกับกลุ่มหน่วยทดลองที่ 2

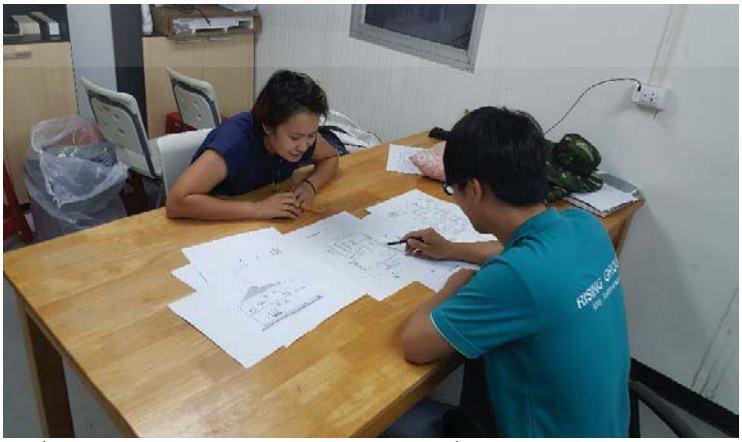
การทดลองรอบที่ 1 การทดลองด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นในการสื่อสารโจทย์กับผู้ควบคุมงานก่อสร้างโดยใช้การพูดคุยระหว่างการใช้งานระบบ และใช้การถ่ายรูปหน้าจอ Smart Device และส่งต่อรูปให้ผู้ควบคุมงานก่อสร้างผ่านโซเชียลมีเดียในการสื่อสารเพื่อให้สามารถไปใช้ในหน้างานต่อได้ กลุ่มเป้าหมายใช้เวลาในการทำโจทย์และสื่อสารให้เข้าใจตรงกันใช้เวลารวมทั้งหมด 12 นาที

ภาพที่ 4.17 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 2 ผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย

ภาพที่ 4.18 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 2 ผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย(2)

การทดลองรอบที่ 2 การทดลองสื่อสารด้วยผังอาคาร ในการทดลองสถาปนิกจะใช้ผังอาคารของอาคารในการสื่อสารโจทย์กับผู้ควบคุมงานก่อสร้างให้เข้าใจตรงกัน โดยสถาปนิกใช้ปากกาวงลงบนผังอาคารในการบอกถึงจุดที่ต้องการสื่อสารบนผังอาคาร โดยในการทดลองด้วยผังอาคารกลุ่มหน่วยทดลองใช้เวลาในการทำโจทย์และสื่อสารให้เข้าใจตรงกันใช้เวลารวมทั้งหมด 17 นาที

ภาพที่ 4.20 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 2 ผ่านผังอาคาร



ภาพที่ 4.21 การสื่อสารระหว่างกลุ่มหน่วยทดลองกลุ่มที่ 2 ผ่านผังอาคาร (2)

จากการทดลองการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยเพื่อเป็นสื่อกลางในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้างด้วยกัน 2 วิธี คือ กลุ่มหน่วยทดลองที่ 1 ใช้การสื่อสารผ่านผังอาคารใช้เวลาทั้งหมด 19 นาที และการสื่อสารโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยใช้เวลารวมทั้งสิ้น 13 นาที และกลุ่มหน่วยทดลองที่ 2 ใช้การสื่อสารผ่านผังอาคารใช้เวลาทั้งหมด 17 นาที และการสื่อสารโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยใช้เวลารวมทั้งสิ้น 12 นาที โดยสรุปผลการจับเวลาในการทดลองใช้การสื่อสารด้วยสื่อกลางทั้งสามประเภทได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยสามารถช่วยในการสื่อสารได้เร็วกว่าแบบผังอาคารเพราะผู้ใช้งานใช้สัญลักษณ์เพียงอันเดียวในการเปิดดูแบบจำลองสามมิติประเภทต่าง ๆ ได้ และสามารถใช้ Smart Device ที่ใช้ในชีวิตประจำวันในการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น และระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถบอกถึงข้อมูลของประเภทวัสดุและขนาดต่างๆขององค์ประกอบแบบจำลองสามมิติได้ จึงทำให้การใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยประหยัดเวลาในการสื่อสารมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ผังอาคารและแบบจำลองในการสื่อสารเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันระหว่างสถาปนิกและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

ตารางที่ 4.1

ผลการทดลองประสิทธิภาพการสื่อสาร

วิธีการทดลอง	ระยะเวลาที่ใช้ในการสื่อสาร
กลุ่มหน่วยทดลองที่ 1	
- สื่อสารผ่านผังอาคารสถาปัตยกรรม	19 นาที
- สื่อสารผ่านระบบที่พัฒนาขึ้น	13 นาที
กลุ่มหน่วยทดลองที่ 2	
- สื่อสารผ่านระบบที่พัฒนาขึ้น	12 นาที
- สื่อสารผ่านผังอาคารสถาปัตยกรรม	17 นาที

4.3.2 การประเมินความคิดเห็นในการใช้งานเพื่อการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย

การประเมินด้วยการทดลองจับเวลาในการใช้งานระบบเปรียบเทียบกับการใช้แบบผังอาคารในการสื่อสารจะแบ่งหัวข้อการประเมินเป็น 3 ข้อได้ดังนี้

(1) การแบบประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานระบบแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ (1.1) การประเมินประสิทธิภาพในการแสดงผล (1.2) การประเมินประสิทธิภาพในกาเพื่อการสื่อสาร โดยวัตถุประสงค์ของการประเมินคือการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้งานถึงเข้าใจในการทำความเข้าใจและการใช้งานระบบรวมถึง ความเข้าใจในการควบคุมระบบเพื่อดูแบบจำลองสามมิติ

(2) การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยวัตถุประสงค์ของการประเมินคือการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้งานถึงความสามารถของระบบในการเป็นสื่อกลางเพื่อช่วยในการสื่อสารข้อมูลทางสถาปัตยกรรมเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน

(3) การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่มีผลในวิชาชีพ โดยวัตถุประสงค์คือการประเมินการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับกลุ่มสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบถึงการลดความเข้าใจที่ไม่ตรงกันของผู้ใช้งาน

(3) การสำรวจหาข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของกลุ่มผู้ใช้งาน โดยวัตถุประสงค์ของการประเมินคือการสอบถามความคิดเห็นในการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นในอนาคตต่อไป

จากการเก็บข้อมูลการประเมินด้วยวิธีการทดลองและสัมภาษณ์ผู้ใช้งาน จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน โดยมีผู้ใช้งานตอบกลับแบบประเมินทั้งสิ้น 20 ตัวอย่าง หรือคิดเป็นร้อยละ 100

โดยข้อมูลเบื้องต้นของผู้ทำแบบประเมินความคิดเห็นสามารถสรุปได้ดังนี้อาชีพในผู้ประเมินทั้งหมด 20 คน มีสถาปนิก 3 คน โดยคิดเป็นร้อยละ 15 ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง 3 คน โดยคิดเป็นร้อยละ 15 นักศึกษาสถาปัตยกรรม 11 คน โดยคิดเป็นร้อยละ 55 และอาชีพอื่นๆ อีก 3 คน โดยคิดเป็นร้อยละ 15

ตารางที่ 4.2

*ข้อมูลทั่วไปของหน่วยทดลองการใช้งานระบบ*ที่พัฒนาขึ้น

ข้อมูลของหน่วยทดลอง	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	14	70
หญิง	6	30
รวม	**20**	**100**

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

*ข้อมูลทั่วไปของหน่วยทดลองการใช้งานระบบ*ที่พัฒนาขึ้น

ข้อมูลของหน่วยทดลอง	จำนวน	ร้อยละ
อายุ		
น้อยกว่า 21 ปี	-	-
22 – 39 ปี	17	85
40 – 50 ปี	1	5
มากกว่า 50 ปี	2	10
รวม	**20**	**100**
เคยมีประสบการณ์ในกระบวนการวิชาชีพสถาปัตยกรรม		
เคยมีประสอบการณ์ในการรับออกแบบ (สถาปนิก)	14	42
เคยมีประสบการณ์ในการว่าจ้างนักออกแบบ (ลูกค้า)	3	9
เคยมีประสบการณ์ในการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการระหว่างกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรม	16	49
ไม่เคย	-	-
รวม	**33**	**100**
มีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ		
มี	17	85
ไม่มี	3	15
รวม	**20**	**100**

จากตารางที่ 4.2 พบว่า กลุ่มหน่วยทดลองใช้งานระบบส่วนมากเคยมีประสบการณ์ในการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการระหว่างกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรม โดยมีจำนวนร้อยละ 49 และมีกลุ่มหน่วยทดลองมีประสบการณ์ในการรับออกแบบจำนวนร้อยละ 42 และมีกลุ่มหน่วยทดลองที่เคยมีประสบการณ์ในการว่าจ้างนักออกแบบเป็นจำนวนร้อยละ 9 โดยในกลุ่มหน่วยทดลองทั้งหมด มีผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมสร้าง

แบบจำลองสามมิติ จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 85 และผู้ที่ไม่มีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติจำนวน 3 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 15

แบบประเมินความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด, มาก, ปานกลาง, น้อย และควรปรับปรุง ซึ่งแต่ละระดับมีค่า 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปใช้หาค่าเฉลี่ยวัดเกณฑ์ความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นของกลุ่มผู้ใช้งาน โดยมีเกณฑ์การแปลผลการประเมินดังนี้

1.00 – 1.49 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่มีประสิทธิภาพ ควรปรับปรุง

1.50 – 2.49 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับน้อย

2.50 – 3.49 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง

3.50 – 4.49 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับมาก

4.50 – 5.00 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตารางที่ 4.3

คะแนนแบบประเมินความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

รายการประเมินความคิดเห็น	**เกณฑ์ในการประเมิน**							
1. ประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานระบบ	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**	**ค่าเฉลี่ย**	**S.D.**	**ระดับการประเมิน**
	5	**4**	**3**	**2**	**1**			
1.1 ประสิทธิภาพในการแสดงผล								
- ความเข้าใจในแบบจำลองสามมิติทางสถาปัตยกรรม	**2**	**18**	**-**	**-**	**-**	**4.1**	**.30**	**มาก**
- การเข้าถึงส่วนต่างๆของอาคาร	**1**	**8**	**11**	**-**	**-**	**3.5**	**.59**	**มาก**
- ฟังก์ชันของปุ่มบนหน้าจอคลอบคลุมการใช้งาน	**-**	**4**	**15**	**1**	**-**	**3.15**	**.47**	**ปานกลาง**
- ความสามารถของระบบในการควบคุมมุมมอง	**-**	**4**	**12**	**4**	**-**	**3**	**.63**	**ปานกลาง**

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

คะแนนแบบประเมินความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

รายการประเมินความคิดเห็น	**เกณฑ์ในการประเมิน**							
1. ประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานระบบ	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**	**ค่าเฉลี่ย**	**S.D.**	**ระดับการประเมิน**
	5	**4**	**3**	**2**	**1**			
1.1 ประสิทธิภาพในการแสดงผล								
- รูปแบบการใช้งานระบบเข้าใจได้ง่ายและสามารถเรียนรู้การใช้งานได้รวดเร็ว	**2**	**15**	**3**	**-**	**-**	**3.95**	**.49**	**มาก**
- ความเหมาะสมของเครื่องมือในการใช้ระบบ	**5**	**13**	**2**	**-**	**-**	**4.15**	**.57**	**มาก**
1.2 ประสิทธิภาพในการสื่อสาร								
- สามารถช่วยในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน	**3**	**12**	**5**	**-**	**-**	**3.9**	**.62**	**มาก**
- สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร (ประหยัดเวลาและรวดเร็ว)	**4**	**9**	**7**	**-**	**-**	**3.85**	**.72**	**มาก**
- การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งาน	**3**	**6**	**10**	**1**	**-**	**3.55**	**.80**	**มาก**
2. ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ								
- รูปแบบหน้าจอแสดงผลที่เข้าใจง่าย	**1**	**14**	**5**	**-**	**-**	**3.8**	**.50**	**มาก**
- การตอบสนองต่อการใช้งาน	**1**	**5**	**11**	**3**	**-**	**3.2**	**.74**	**ปานกลาง**
- การเข้าถึงการใช้งานระบบสารสนเทศ	**1**	**6**	**13**	**-**	**-**	**3.4**	**.58**	**ปานกลาง**

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

คะแนนแบบประเมินความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

รายการประเมินความคิดเห็น	**เกณฑ์ในการประเมิน**							
3. ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่มีผลในวิชาชีพ (สำหรับผู้ที่เคยมีประสบการณ์ในกระบวนการวิชาชีพสถาปัตยกรรม)	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**	**ค่าเฉลี่ย**	**S.D.**	**ระดับการประเมิน**
	5	**4**	**3**	**2**	**1**			
- ช่วยให้การทำงานในกระบวนการทางสถาปัตยกรรมทำได้ง่ายมากขึ้น	**2**	**12**	**6**	**-**	**-**	**3.8**	**.60**	**มาก**
- ช่วยทำให้การสื่อสารชัดเจนลดความคลาดเคลื่อนในการสื่อสาร	**4**	**11**	**5**	**-**	**-**	**3.9**	**.66**	**มาก**
- การใช้แบบจำลองสามมิติได้อย่างคุ้มค่า	**4**	**12**	**1**	**-**	**-**	**4.3**	**.55**	**มาก**
- ประหยัดเวลา	**3**	**8**	**9**	**-**	**-**	**3.7**	**.71**	**มาก**
- ประหยัดงบประมาณ	**2**	**4**	**14**	**-**	**-**	**3.4**	**.66**	**ปานกลาง**

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าระดับการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นในด้านการแสดงผลในส่วนของการเข้าใจแบบจำลองสามมิติอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 ในส่วนของการควบคุมระบบในการควบคุมมุมมอง อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3 และมีผู้ประเมินระดับน้อย 4 คน โดยให้ความเห็นว่าการควบคุมตัวชี้บนหน้าจอให้ตรงกับแบบจำลองที่ต้องการมีความไม่สะดวก เพราะการสั่นของ Smart Device ที่ต้องถือเพื่อใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอทำให้ควบคุมได้ยาก ในด้านของประสิทธิภาพในการสื่อสาร ในส่วนของความสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.85 ในด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบในส่วนของหน้าจอแสดงผลที่เข้าใจได้ง่ายอยู่ในระดับมาก โดยมี

ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.8 และในด้านการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่มีผลต่อวิชาชีพอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.8

4.3.3 ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน

การประเมินผู้ใช้งานทั้งหมด 20 คน มีข้อเสนอแนะต่อระบบที่พัฒนาขึ้นดังนี้

(1) ควรเพิ่มฟังก์ชันการพูดคุยออนไลน์บน Application ได้ทันทีโดยที่ไม่ต้องผ่านการสื่อสารด้วยโปรแกรมอื่น

(2) ควรมีฟังก์ชันการเลือกมองเห็นเฉพาะสิ่งที่เลือก เพราะหากเป็นอาคารขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ยากต่อการมองหาองค์ประกอบของแบบจำลองที่ทำการเลือกไว้

(3) ควรมีฟังก์ชันการแก้ไขแบบจำลองเบื้องค้นภายใน Application เพื่อช่วยในการสื่อสารโดยแก้ไขบน Application ได้เลยโดยที่ไม่ต้องกลับมาแก้ไขในโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการสื่อสารระหว่างสถาปนิกกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ โดยสามารถสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไป

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้น

5.2 สรุปผลการประเมินการทดลองใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มเป้าหมาย

5.3 สรุปข้อจำกัดในการพัฒนาระบบในงานวิจัย

5.4 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

5.5 สรุปบทวิเคราะห์การใช้งานระบบ

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้น

จากการพัฒนาระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือนเพื่อช่วยในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ สามารถสรุปการพัฒนาระบบออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

5.1.1 การเตรียมระบบเพื่อรองรับข้อมูลของแบบจำลองสามมิติ

การเตรียมระบบเพื่อรองรับข้อมูลของแบบจำลองสามมิติ โดยหลังจากได้แบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม BIM แล้ว แบบจำลองสามมิติจะถูกนำมาใช้ต่อในโปรแกรม Unity เพื่อใส่ข้อมูลของวัสดุต่าง ๆ ของชิ้นส่วนในแบบจำลองสามมิติ โดยข้อมูลดังกล่าวจะต้องใส่ภายในช่องที่ได้กำหนดไว้ และกำหนด tagged ของชิ้นส่วนแบบจำลองให้ตรงตามประเภทของช่องสำหรับกรอกข้อมูลเพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลได้ตามที่ตั้งค่าไว้ หากมีแบบจำลองสามมิติหลายประเภท จะต้องสร้าง Scene เพิ่มขึ้นภายในโปรแกรม Unity และทำการตั้งค่าแบบจำลองสามมิตินั้นตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น หลังจากตั้งค่าแบบจำลองสามมิติแล้ว ก็สามารถ Build (การสร้าง Application จากโปรแกรม Unity) เพื่อให้สามารถนำมาติดตั้งเปิดใช้งานด้วย Smart Device ได้

5.1.2 หน้าต่างแสดงผลแบบจำลองสามมิติและการควบคุมแบบจำลองสามมิติ

หน้าต่างแสดงผลการทำงาน จะแสดงปุ่มกดเพื่อใช้ควบคุมแบบจำลองสามมิติ และสามารถเปลี่ยนไปดูแบบจำลองสามมิติรูปแบบอื่น ๆ ที่ได้ตั้งค่าไว้ภายใน Application ผ่านปุ่มบนหน้าต่างแสดงผลได้

5.1.3 ระบบที่พัฒนาขึ้นเมื่อทดสอบการใช้งานและทำการประเมินจะสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่สามารถนำคอมพิวเตอร์ ผังอาคารขนาดใหญ่ หรือแบบจำลองเข้าไปใช้งานได้สะดวก เนื่องจากระบบสามารถทำงานได้โดยการใช้ Smart Device ในชีวิตประจำวัน ทำให้สะดวกต่อการพกพา สามารถดูแบบจำลองสามมิติได้หลายรูปแบบและสามารถบอกถึงข้อมูลต่าง ๆ ของชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติที่มาจากโปรแกรมประเภท BIM ได้ และเหมาะกับกลุ่มสถาปนิกหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรมที่มีความคุ้นเคยต่อการใช้ Smart Device ในชีวิตประจำวัน

5.2 สรุปผลการประเมินการทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มเป้าหมาย

การประเมินการทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นกับกลุ่มเป้าหมายจำนวนทั้งหมด 15 โดยเป็นกลุ่มสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการในขั้นตอนต่าง ๆ โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 เรื่องหลัก ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ และประสิทธิภาพของระบบที่มีผลในวิชาชีพ (สำหรับผู้ที่เคยมีประสบการณ์ในกระบวนการวิชาชีพสถาปัตยกรรม) โดยสามารถสรุปการประเมินจากผู้ที่ทำการประเมินได้ดังนี้

5.2.1 ผลการประเมินความเข้าใจในการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นโดยสรุปได้ว่า ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการใช้งานระบบและสามารถเข้าใจและเรียนรู้การใช้งานปุ่มต่าง ๆ ภายในหน้าจอแสดงผลได้ในระดับที่ดี ผู้ใช้งานมีความสามารถในการควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยปุ่มกดได้ในระดับที่ดี ผู้ใช้งานมีความสามารถในการควบคุมแบบจำลองสามมิติด้วยระบบการสัมผัสบน Smart Device ได้ในระดับปานกลาง โดยสรุปผลได้ว่าผู้ใช้งานทั้งหมดมีความคิดเห็นต่อความเข้าใจในการใช้งานระบบในระดับที่ดีทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

5.2.2 ผลการประเมินความถูกต้องในการแสดงผลของระบบที่พัฒนาขึ้นโดยสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลข้อมูลของวัสดุตามชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลองสามมิติได้ถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลของชิ้นส่วนต่าง ๆ ผ่านหน้าจอแสดงผลได้ถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถควบคุม Crosshair บนหน้าจอเพื่อให้ตรงกับชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติที่ต้องการทราบข้อมูลได้ระดับปานกลาง จากการสรุปผลการประเมินความถูกต้องในการแสดงผลของระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสรุปได้ว่า หน้าต่างแสดงผลสามารถแสดงข้อมูลของชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติได้ถูกต้องตามที่ได้ตั้งค่าไว้ และผู้ใช้งานสามารถควบคุม Crosshair บนหน้าจอเพื่อให้แสดงผลตามที่ต้องการได้ในระดับปานกลาง เนื่องจากชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติบางชิ้นเล็ก ทำให้ความแม่นยำในการใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอลดลง

5.2.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการสรุปได้ว่า ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับที่ดี สามารถช่วยใน

การประหยัดเวลาในการสื่อสารและทำให้ผู้ใช้งานสามารถสื่อสารสามารถเข้าใจถึงข้อมูลที่ต้องการสื่อสารได้จากการใช้ฟังก์ชันการเลือกชิ้นส่วนและการสร้างกรอบบนชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติ โดยสรุปผลได้ว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการสื่อสารในระดับที่ดี เพราะผู้ใช้งานสามารถใช้แบบผังอาคารทางสถาปัตยกรรมเพียงแผ่นเดียวเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแสดงผลแบบจำลองสามมิติ และผู้ใช้งานส่วนใหญ่สามารถใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นได้จาก Smart Device ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

5.3 สรุปข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย

ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน มีข้อจำกัดในการเตรียมการและใช้งานระบบโดยสรุปข้อจำกัดและบอกถึงข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยออกมาเป็นข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.3.1 ในการเตรียมการแบบจำลองสามมิติ ผู้เตรียมการจะต้องนำแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรมประเภท BIM เข้าสู่โปรแกรม Unity โดยตรงจะทำให้วัสดุที่ถูกใส่มาจากโปรแกรมประเภท BIM หายไป ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย สร้าง plug in ที่สามารถดึงค่าข้อมูลจากโปรแกรมประเภท BIM ให้สามารถนำเข้ามาในโปรแกรม Unity ได้ทันที และการเตรียมข้อมูลจำเพาะของแบบจำลองสามมิติภายในโปรแกรม Unity จะต้องใส่ข้อมูลภายในช่องที่กำหนดให้ตามประเภท Tagged ของวัสดุ หากประเภทของวัสดุที่ต้องการใส่ข้อมูลมีมากกว่าช่องสำหรับกรอกข้อมูลและ Tagged ที่กำหนดให้ผู้ใช้งานจะต้องทำการเพิ่มช่องสำหรับกรอกด้วยการเขียน Script ด้วยภาษา C# ด้วยตนเอง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเขียน Script ให้สามารถทำได้โดยอัตโนมัติ

5.3.2 การใช้ Crosshair บนหน้าจอเพื่อแสดงผลข้อมูล จะขึ้นอยู่กับความละเอียดในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นมาจากโปรแกรม BIM ซึ่งหากแบบจำลองสามมิติถูกสร้างขึ้นเป็นชิ้นส่วนชิ้นใหญ่ชิ้นเดียวกัน การใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอให้ตรงกับชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติจะหมายถึงการแสดงผลแบบจำลองสามมิติชิ้นนั้นทั้งชิ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยทำการสร้างชิ้นส่วนของแบบจำลองแยกกันตั้งแต่การสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรมประเภท BIM

5.3.4 การนำข้อมูลของการใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอเพื่อบอกตำแหน่งขององค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติทำได้เพียงการถ่ายภาพหน้าจอ Smart Phone เพื่อนำข้อมูลภาพไปสื่อสารแต่ไม่สามารถทำให้ผู้ที่สื่อสารด้วยทราบถึงตำแหน่งที่ทำการใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอหากเปิดระบบที่พัฒนาขึ้นจาก Smart Device ของตนเอง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย ควรมีปุ่มฟังก์ชันการจดจำตำแหน่งของมุมกล้องที่ได้ทำการเลือกเป้าหมาย เพื่อให้ผู้รับข้อความสามารถทราบถึงตำแหน่งที่ถูกเลือกเป้าหมายได้

5.3.5 การใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอให้ตรงกับองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ เป็นการเลือกลงบนแบบจำลองไม่สามารถเลือกให้มองเห็นได้เฉพาะชิ้นส่วนขององค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติที่ถูกเลือกได้ซึ่งหากเป็นอาคารขนาดใหญ่จะทำให้การค้นหาชิ้นส่วนต่างๆทำได้ยากมากขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยควรมีปุ่มฟังก์ชันสำหรับค้นหาชิ้นส่วนที่ถูกเลือกเป้าหมาย หรือประเภทของชิ้นส่วนที่ต้องการค้นหาเท่านั้น

5.3.6 การใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอให้ตรงกับองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ เป็นการเลือกชิ้นส่วนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าชิ้นส่วนนั้น ๆ อยู่บนส่วนไหนบนผังอาคารสถาปัตยกรรมสองมิติ ซึ่งการดูตำแหน่งขององค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติบนแบบจำลองสามมิติอย่างเดียว ทำให้ไม่สามารถรู้ถึงตำแหน่งบนผังอาคารสองมิติได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยควรมีการเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ตัวชี้เป้าหมายบนหน้าจอลงบนแบบจำลองสามมิติให้สามารถบอกถึงตำแหน่งของชิ้นส่วนของแบบจำลองสามมิติบนผังอาคารสองมิติได้

5.3.7 การสื่อสารหลังจากการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อบอกชี้ตำแหน่งขององค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติต้องใช้การถ่ายภาพหน้าจอ Smart Phone และใช้โซเชียลมีเดียอื่นในการสื่อสาร แก้ไขได้โดยทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นเชื่อมต่อระบบออนไลน์และมีฟังก์ชันในการสื่อสารบนระบบได้ทันที โดยโปรแกรมเกมเอนจิ้น Unity มีฟังก์ชันในการรองรับระบบออนไลน์ เช่น Unity web player เป็นต้น

รายการอ้างอิง

หนังสือ

กิดานันท์ มลิทอง. (2543.) *เทคโนโลยีและนวัตกรรมการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุนการพิมพ์.

วสันต์ เกียรติแสงทอง, พรรษพล พรหมมาศ, อนุวัตร เฉลิมสกุลกิจ. (2552.) *การศึกษาเทคโนโลยีออคเมนต์เตดเรียลริตี้: กรณีศึกษาพัฒนาเกมส์ "เมมการ์ด"*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2558.) *คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ห้างบริษัท พลัสเพรสจำกัด.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ภาสกร ใหลสกุล. Augmented Reality (AR) ความจริงต้องขยาย. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2558, จาก https://sipaedumarket.wordpress.com /2014/04/20/augmented-reality-ar-ความจริงต้องขยาย

วรพันธุ์ คล้ามไพบูลย์. 5 แนวคิดสร้างธุรกิจโฮสเทลให้แตกต่างและประสบความสำเร็จ. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2558 จาก http://ohmpiang.com/startup/5-hostel-startup-secrets

Rinny. Hologram Technology ประตูสู่ยุคแห่งโลกเสมือนจริง สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2558 จาก http://www.vcharkarn.com/blog/115383/92310

Articles

Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, PrinticeHall, NJ, USA 1989, P1-P92.

De Wit W. T. et. Al. (2556). 3Design - *Holographic Telecollaboration Interface.* Trace: Tennessee Research and Creative Exchange. University of Tennessee.

Ellen Yi-Luen Do. (2554). Sketch That Scene for Me and Meet Me in Cyberspace. Georgia Institute of Technology, U.S.A.

Jay Vai, (2015). 4D Building Information Modelling with Augmented Reality on Mobile Devices to Support Construction Management, P100

Keil J., Ollner Z. M., et. AL. (2010) The House of Olbrich - An Augmented Reality Tour through architectural history, P15.

Prince S., Cheok D. A., et. AL, (2007). *3-D Live: Real Time Interaction for Mixed Reality* P370.

Rafael C. Gonzalez, Richard E. (1992). Woods. Digital Image Processing, Addison Wesley, P1-P28.

Yoo H. , Kim H. (2014). On Study of the Volumetric Display Techniques In Interactive Media Arts Proceedings. Chung-Ang University. Dept. of advanced image Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia and Film.

Electronic Media

Ishii, H.,& Ullmer b. (1997). Tangible Bits: Toward Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. Proceeding of'97. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2558.จาก http://web.media.mit.edu/~anjchang/ti01/ishii-chi97-tangbits.pdf

Panomkhawn Riyamongkol (12 ตุลาคม 2558) Introduction to Digital Image Processing, เข้าถึงได้จาก http://www.ecpe.nu.ac.th/panomkhawn/imagepro/pdf/ch01.pdf สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2558.

Susana. (2008). From GUI to TUI. จาก http://iconlibrary.iconshock.com/design/from-gui-to-tui/. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กันยายน 2558.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบสอบถามความคิดเห็นการใช้ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University

อาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์: +66 (0) 2986 9434, +66 (0) 2986 9605-6 โทรสาร: +66 (0) 2986 8067 เว็บไซต์: http://www.tds.tu.ac.th

คำชี้แจง แบบสอบถามความคิดเห็นนี้มีเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่อง **ระบบการนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสถาปัตยกรรมสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน** โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการสื่อสารระหว่างสถาปนิกและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ เพื่อนำมาออกแบบและปรับปรุงระบบ จัดทำโดย นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์ นักศึกษาปริญญาโท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

แบบสอบถามมีจำนวนทั้งหมด 3 หน้า ประกอบด้วยชุดแบบสอบถาม 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ส่วนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบสารสนเทศ

ข้อมูลที่รับจากท่านทั้งหมด จะเก็บไว้เป็นความลับและใช้เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความร่วมมือ

นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์

(นักศึกษาปริญญาโท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่าง ตรงตามความเป็นจริง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1.1 เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

1.2 อายุ .....

1.3 อาชีพ

☐ สถาปนิก ☐ ผู้ควบคุมโครงการก่อสร้าง ☐ อื่นๆ .....

1.4 ท่านเคยมีประสบการณ์ในกระบวนการวิชาชีพสถาปัตยกรรมหรือไม่ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ เคยมีประสบการณ์ในการรับออกแบบ (สถาปนิก)

☐ เคยมีประสบการณ์ในการว่าจ้างนักออกแบบ (ลูกค้า)

☐ เคยมีประสบการณ์ในการสื่อสารกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการระหว่างกระบวนการก่อสร้างสถาปัตยกรรม

☐ ไม่เคย

1.5 ท่านมีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติหรือไม่

☐ มี ☐ ไม่มี

ส่วนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ลงใน ☐หรือเติมข้อความลงในช่องว่าง ตรงตามความเป็นจริง

1. ประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานระบบ	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**
	5	4	3	2	1
1.1 ประสิทธิภาพในการแสดงผล					
- ความเข้าใจในแบบจำลองสามมิติทางสถาปัตยกรรม					
- การเข้าถึงส่วนต่างๆของอาคาร					
- ฟังก์ชันของปุ่มบนหน้าจอคลอบคลุมการใช้งาน					
- ความสามารถของระบบในการควบคุมมุมมอง					
- รูปแบบการใช้งานระบบเข้าใจได้ไงและสามารถเรียนรู้การใช้งานได้รวดเร็ว					
- ความเหมาะสมของเครื่องมือในการใช้ระบบ					
ข้อเสนอแนะ					
1.2 ประเมินประสิทธิภาพในการสื่อสาร					
- สามารถช่วยในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน					
- สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร (ประหยัดเวลาและรวดเร็ว)					
- การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งาน					
ข้อเสนอแนะ					

2. ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**
	5	**4**	**3**	**2**	**1**
- รูปแบบหน้าจอแสดงผลที่เข้าใจง่าย					
- การตอบสนองต่อการใช้งาน					
- การเข้าถึงการใช้งานระบบสารสนเทศ					
3. ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่มีผลในวิชาชีพ (สำหรับผู้ที่เคยมีประสบการณ์ในกระบวนการวิชาชีพสถาปัตยกรรม)	**มากที่สุด**	**มาก**	**ปานกลาง**	**น้อย**	**ควรปรับปรุง**
	5	**4**	**3**	**2**	**1**
- ช่วยให้การทำงานในกระบวนการทางสถาปัตยกรรมทำได้ง่ายมากขึ้น					
- ช่วยทำให้การสื่อสารชัดเจน ลดความคลาดเคลื่อนในการสื่อสาร					
- การใช้แบบจำลองสามมิติได้อย่างคุ้มค่า					
- ประหยัดเวลา					
-ประหยัดงบประมาณ					

ข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ข

ควบคุมแบบจำลองสามมิติและเปลี่ยน Scene

```
public void RotationRightButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Rotate (0, -rotationSpeed
        *Time.deltaTime, 0);
        }
public void RotationLeftButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Rotate (0, rotationSpeed *
        Time.deltaTime, 0); }
public void RotationRightButtonRepeat ()
        { repeatRotateRight=true; }
public void RotationLeftButtonRepeat ()
        { repeatRotateLeft=true; }
public void ScaleUpButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.localScale += new Vector3
        (scalingSpeed, scalingSpeed, scalingSpeed); }
public void ScaleUpButtonRepeat ()
        { repeatScaleUp = true;
          Debug.Log ("Up"); }
public void ScaleDownButtonRepeat ()
        { repeatScaleDown = true;
          Debug.Log ("Down"); }
public void PositionDownButtonRepeat ()
        { repeatPositionDown = true; }
public void PositionUpButtonRepeat ()
        { repeatPositionUp = true; }
public void PositionLeftButtonRepeat ()
        { repeatPositionLeft = true; }
```

```
public void PositionRightButtonRepeat ()
        { repeatPositionRight = true; }
public void ScaleUpButtonOff ()
        { repeatScaleUp = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void ScaleDownButtonOff ()
        { repeatScaleDown = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void RotateLeftButtonOff ()
        { repeatRotateLeft = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void RotateRightButtonOff ()
        { repeatRotateRight = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void PositionRightButtonOff ()
        { repeatPositionRight = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void PositionLeftButtonOff ()
        { repeatPositionLeft = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void PositionUpButtonOff ()
        { repeatPositionUp = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void PositionDownButtonOff ()
        { repeatPositionDown = false;
          Debug.Log ("Off"); }
public void ScaleDownButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.localScale += new Vector3 (-
        scalingSpeed, -scalingSpeed, -scalingSpeed); }
```

```
public void PositionUpButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Translate (0, 0, -
        translationSpeed * Time.deltaTime); }
public void PositionDownButton ()
        {GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Translate (0, 0, translationSpeed
        * Time.deltaTime); }
public void PositionRightButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Translate (-translationSpeed *
        Time.deltaTime, 0, 0); }
public void PositionLeftButton ()
        { GameObject.FindWithTag ("Model").transform.Translate (translationSpeed *
        Time.deltaTime, 0, 0);  // backward }
public void LoadScene (string a)
        { SceneManager.LoadScene (a); }
```

ภาคผนวก ค

แสดงรายละเอียดจำเพาะของแบบจำลองสามมิติ

```
void Update ()
        {
        FadeText();
        Debug.DrawRay(camera.transform.position, camera.transform.forward * 1000,
        Color.red);
        if (Physics.Raycast(camera.transform.position, camera.transform.forward, out
        hitRay, 1000))
        {
        if (hitRay.collider.tag == "Co1")
        { display = true; }
        else
        { display = false; }
        if (hitRay.collider.tag == "Floor1")
        { display2 = true; }
        else
        { display2 = false; }
        if (hitRay.collider.tag == "Roof")
        { display3 = true; }
        else
        { display3 = false; }
        if (hitRay.collider.tag == "Wall")
        { display4 = true; }
        else
        { display4 = false; }
```

```
void OnGUI ()
        {
        if (display == true)
        { GUI.Box(new Rect(50, 50, 150, 100), text);
         GUI.skin.label.fontSize = 30; }
        if (display2 == true)
        { GUI.Box(new Rect(50, 50, 150, 100), text2);
          GUI.skin.label.fontSize = 30; }
        if (display3 == true)
        { GUI.Box(new Rect(50, 50, 150, 100), text3);
          GUI.skin.label.fontSize = 30; }
```

ภาคผนวก ง

การเลือกชิ้นส่วนแบบจำลองสามมิติ

```
 void Start ()
        { camera = Camera.main.gameObject;
        Floor1.GetComponent<Renderer>().material = mats[index];  }

void Update ()
        { if (Physics.Raycast(camera.transform.position, camera.transform.forward, out
        hitRay, 1000))
        {
        if (hitRay.collider.tag == "Floor1")
        { _displayGUI1 = true; }
        Else
        { _displayGUI1 = false; }

public void OnGUI ()
        {
        if (_displayGUI1 == true)
        { GUILayout.BeginArea(new Rect(Screen.width / 2 - 100, Screen.height - 60,
        200, 50));
        if (GUI.Button(new Rect(165, 15, 30, 30), "+"))
        { index++;
        if (index > mats.Length - 1)
        { index = 0; }
        Floor1.GetComponent<Renderer>().material = mats[index];
        }
        }
        GUILayout.EndArea();
        }
        }
```

ภาคผนวก จ

การตีกรอบบนแบบจำลองสามมิติ

```
void Update ()
        {
        if (MarkCreate)
        { CreateMark(); }
        }
public void CreateMark ()
        { Debug.DrawRay(transform.position, transform.forward * Ray_Distance,
        Color.red);
        if (Physics.Raycast(transform.position, transform.forward, out
        Ray_Cast_Coliision_Data))
        {
        if (Ray_Cast_Coliision_Data.collider.gameObject.tag == "Roof")
        {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Mouse0))
        {
        Temporary_Bullet_Mark_Game_Object = Instantiate(Bullet_Mark,
        Ray_Cast_Coliision_Data.point,
        Quaternion.LookRotation(Ray_Cast_Coliision_Data.normal)) as
        GameObject;
        Temporary_Bullet_Mark_Game_Object.transform.Rotate(Vector3.right *
        90);
        }
        else if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Mouse1))
        {
        Destroy(Temporary_Bullet_Mark_Game_Object);
        }
        }
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์
วันเดือนปีเกิด	28 กันยายน 2534
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2556: วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2559: ทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

สุทธิภัทร ล้อสกุลกานนท์, และ ชาวี บุษยรัตน์. (กรกฎาคม 2559). *ระบบการมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกจริงเข้ากับโลกเสมือน*. การประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates Conference ครั้งที่ 7 ประจำปี 2559 (BERAC 7, 2016), คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.