การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ

นาย มงคล ฉันท์ไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1347-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20472936

A STUDY OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR INCREASING COMMUNICATION CAPABILITY IN DESIGN STAGE

Mr. Mongkon Chanpaisan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1347-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ
โดย	นายมงคล ฉันท์ไพศาล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ไตรรัตน์ จารุทัศน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ไตรรัตน์ จารุทัศน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ลุวีระ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร)

มงคล ฉันท์ไพศาล : การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ (A STUDY OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR INCREASING COMMUNICATION CAPABILITY IN DESIGN STAGE)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ธนิต ธงทอง และ อ.ไตรรัตน์ จารุทัศน์, 148 หน้า.
ISBN 974-17-1347-9.

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality) มาสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับใช้ในงานก่อสร้างในช่วงการออกแบบ โดยมุ่งเน้นการศึกษาผลจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการออกแบบอาคารบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จากกรณีศึกษา "โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม" ซึ่งเป็นอาคารที่มีข้อจำกัดในด้านการออกแบบและก่อสร้างหลายประการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขข้อจำกัดของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการสื่อสารระหว่างการดำเนินงานในช่วงการออกแบบ ศึกษาผลของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารระหว่างการกลุ่มของผู้ออกแบบ แนะนำการพัฒนาระบบและการใช้ประโยชน์จากแบบจำลองเสมือนจริงในงานก่อสร้าง รวมทั้งการนำเสนอขั้นตอนในการใช้แบบจำลองเสมือนจริงตั้งแต่การเลือกใช้ซอฟต์แวร์ การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงและการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการสื่อสาร

ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในช่วงการออกแบบสามารถช่วยให้ผู้ร่วมงานมองเห็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างก่อสร้างได้อย่างชัดเจน และช่วยในการสื่อสารระหว่างฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เนื่องจากช่วยให้ผู้ร่วมงานเข้าใจผลการออกแบบได้อย่างรวดเร็วและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ แต่แบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดด้านการแสดงรายละเอียดของข้อมูลด้านระยะ (Dimension) และไม่สามารถแสดงสภาพความเป็นจริงทั้งหมดได้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงงานวิจัยนี้ได้เสนอรูปแบบการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่ายแบบดิจิตอล ผลจากการประยุกต์ใช้พบว่าสามารถแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต.....มงคล ฉันท์ไพศาล.....
สาขาวิชา... วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา .....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ไตรรัตน์.....

4370446121: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS: VIRTUAL REALITY / VIRTUAL MODEL / COMMUNICATION IMPROVEMENT / CONSTRUCTION / DESIGN STAGE

MONGKON CHANPAISAN: A STUDY OF VIRTUAL MODEL UTILIZATION FOR INCREASING COMMUNICATION CAPABILITY IN DESIGN STAGE

THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF. DR.TANIT TONGTHONG

THESIS ADVISOR: TRAIRAT JARUTASH, 148 pp.

ISBN 974-17-1347-9.

This research presents applications of Virtual Reality (VR) Technology in the design stage by constructing a Virtual Model (VM) of a building selected as a case study: the five-story building for the Department of Civil Engineering which will be constructed over the existing two-story laboratory building. In this study, the proposed VM is developed on the normal personal computers in order to be applicable to any contractors. The objectives of this research are 1) to identify advantages and limitations of VM applications as communication tools in design stage, 2) to present how the VM increase communication capability among the design parties, 3) to recommend an improvement system for better utilization of VM for the construction, and 4) to provide step-by-step procedures to use the VM starting from the selection of the software, the construction of the VM, and the application as a communication tool.

The result shows that using VM in the design stage is able to assist the designers in discovering the unforeseen obstacles, which may occur during construction stage. It also helps the architect, the engineers and the owner to clearly understand the designed facilities and supports them to be able to consider the proposed building in various aspects. In addition, the VM provides a better communication among the architect, the structural engineers, foundation engineer, the construction expert, and the owner. However, the disadvantages of the VM are the ability to show the detailed dimension and to display the real atmosphere compared to photographs. The limitations can be solved by using the integrated method which is the use of VM, 2D digital drawings, and digital pictures.

Department.....Civil.Engineering... Student's signature.....

Field of study...Civil Engineering.... Advisor's signature.....

Academic year.....2002..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง และอาจารย์ ไตรรัตน์ จารุทัศน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาบริหารการก่อสร้างทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิง คุณะวัฒน์สถิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบูรณ์ ลุวีระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ช่อวิเชียร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิศณุ ทรัพย์สมพล ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา รวมทั้งให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

อนึ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุสม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์ ซึ่งได้กรุณาให้ข้อมูลและคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาว ของข้าพเจ้า และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนของข้าพเจ้าซึ่งได้ช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน จนสำเร็จการศึกษา

มงคล ฉันท์ไพศาล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูปภาพ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7
2.1 แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลองเสมือนจริง..... 7
2.2 การแปลงข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง..... 9
2.3 ภาษา VRML และเทคโนโลยีภาพสามมิติบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต..... 12
2.4 การเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเสมือนจริง..... 13
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14
2.6 บทสรุป..... 20

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและการศึกษาโครงการตัวอย่าง..... 22
3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 22
3.2 ทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง..... 26
3.3 รายละเอียดโครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา..... 30
3.4 ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้ภายในกรณีศึกษา..... 34
3.5 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในงานวิจัย (ในกรณีศึกษา)..... 35
3.6 การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงระหว่างการติดต่อประสานงาน..... 40
3.7 การแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง..... 41

หน้า

3.8 บทสรุป..... 43

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 44

4.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการพิจารณาเลือกทางเลือก ในการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องของสถาปนิก..... 44

4.2 การติดต่อสื่อสารร่วมกันระหว่าง เจ้าของ สถาปนิกและวิศวกร เมื่อมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริง..... 59

4.3 สรุปผลการดำเนินงานในกรณีศึกษา..... 95

บทที่ 5 การวิเคราะห์เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสาน..... 97

5.1 ความสามารถในการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการสื่อสาร ในช่วงการออกแบบ..... 96

5.2 ความสามารถในการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานในการสื่อสาร ในช่วงการออกแบบ..... 101

5.3 ค่าใช้จ่าย ระยะเวลาและความพยายามที่เกิดขึ้นจากการนำ แบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสานมาประยุกต์ใช้งานจริง..... 104

5.4 ข้อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงาน ที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก..... 106

5.5 บทสรุป..... 108

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดของการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 110

6.1 การสรุปผลการวิจัย..... 110

6.2 วิเคราะห์เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริง และเครื่องมือแบบผสมผสาน..... 116

6.3 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงรูปแบบการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง ที่ใช้ในกรณีศึกษา..... 117

6.4 รูปแบบการติดต่อประสานงานโดยใช้ CD-ROM สำหรับบันทึกข้อมูล ในการสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงาน..... 118

6.5 การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการวางแผนก่อสร้างเบื้องต้น..... 119

6.6 การอภิปรายผลงานวิจัย..... 122

6.7 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในโครงการอื่นๆ..... 122

หน้า

6.8 แนวทางการวิจัยในอนาคต 124
6.9 ข้อจำกัดของงานวิจัย..... 124
รายการอ้างอิง..... 126
ภาคผนวก..... 128
ภาคผนวก ก. คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Cult3D 129
ภาคผนวก ข. คู่มือการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง..... 133
ภาคผนวก ค. โครงสร้างและการกำหนดค่าของแบบจำลองเสมือนจริง..... 137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 149

ถาบันวิทยบริการ
ลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

บทที่		หน้า
3.1	แสดงวิธีดำเนินงานวิจัย เรื่องที่ทำการวิเคราะห์ สิ่งที่ได้และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	24
3.2	แสดงบทสรุปวิธีการวิจัยและการสังเคราะห์วิธีการวิจัย.....	25
3.3	แสดงปัจจัยที่มีการพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริง.....	29
3.4	แสดงรายละเอียดในการพิจารณาเลือกใช้ซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์ในงานวิจัยนี้.....	34
4.1	แสดงประโยชน์ที่ได้รับจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุม วันที่ 27 มิถุนายน 2545 ในมุมมองของผู้ร่วมประชุม.....	75
4.2	แสดงข้อจำกัดที่ได้รับจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุม วันที่ 27 มิถุนายน 2545 ในมุมมองของผู้ร่วมประชุม.....	76
5.1	แสดงระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริง และเครื่องมือแบบผสมผสาน.....	105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

บทที่		หน้า
1.1	แสดงภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	6
2.1	กระบวนการในการแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ CAD ไปยัง VR (Whyte *et al.* 1998)..	10
2.2	รูปวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง (Whyte, *et al.* 1998).....	11
2.3	แสดงแผนที่ซึ่งสามารถทำการเชื่อมโยงกับแบบจำลองเสมือนจริง ในลักษณะสามมิติได้ (Ogata, et al. 1999).....	15
2.4	แสดง การนำแบบจำลองเสมือนจริงแสดงภาพสามมิติของโครงการและภาพ 3 มิติ ในช่วงของการดำเนินงานก่อสร้างในขั้นตอนที่มีความไม่ชัดเจน หรือยากต่อการทำความเข้าใจ (Ogata, et al. 2000).....	17
2.5	แสดงรูปแบบของบ้านที่อยู่ในระบบ Virtual Reality ซึ่งผู้ใช้สามารถ วางแผน Site layout ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถเข้าไปชม ในมุมมองที่ตนต้องการได้ (Whyte, et al. 2000).....	18
2.6	แสดงแบบจำลองเสมือนจริงของโครงสร้างเหล็ก (Lipman and Reed, 2000).....	19
2.7	แสดงแบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องจักรก่อสร้างที่ควบคุมการเคลื่อนที่ได้ (Lipman and Reed, 2000)	20
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและแหล่งข้อมูล.....	23
3.2	แสดงตัวอย่างภาพถ่ายอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม.....	31
3.3	แสดงภาพรวมของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง.....	37
3.4	แสดงตัวอย่างการสร้างแบบ 3 มิติของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิม ภายในซอฟแวร์ AutoCAD	38
3.5	แสดงภาพการตรวจสอบความถูกต้องของการควบคุมการแสดงผล ของแบบจำลองเสมือนจริง.....	40
3.6	แสดงภาพการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงในมุมมองต่างๆ ของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (ที่มีอยู่เดิม).....	42
4.1	แสดงลักษณะของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (ที่มีอยู่เดิม) โดยสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง.....	45
4.2	แสดงรูปแบบการดำเนินงานของสถาปนิกเมื่อมีการนำแบบ 2 มิติมาประยุกต์ใช้	46
4.3	แสดงรูปแบบการดำเนินงานของสถาปนิกในกรณีศึกษา เมื่อมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้	47

บทที่		หน้า
4.4	แสดงแบบ 2 มิติซึ่งแสดงเครื่องทดสอบเดิม อาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เมื่อมีการซ้อนทับตำแหน่งกับอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่.....	49
4.5	แบบจำลองเสมือนจริงแสดงการซ้อนทับตำแหน่งอาคาร และเครื่องทดสอบเดิมกับอาคารที่ออกแบบใหม่.....	49
4.6	แสดงความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการแสดงภาพเฉพาะอาคาร ที่มีอยู่เดิมและแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาใหม่ กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1.....	50
4.7	แสดงความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการแสดงภาพ เฉพาะอาคารที่มีอยู่เดิม และแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาใหม่ กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1.....	50
4.8	แสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างแกนช่องลิฟต์กับเครื่องทดสอบ และอาคารเดิมชั้นที่1 และชั้นที่ 2.....	50
4.9	แสดงการซ้อนทับตำแหน่งของพื้นอาคารชั้น 3 กับเสาเดิม และการซ้อนทับตำแหน่งของบันไดหนีไฟกับอาคารเดิมชั้นที่1 และชั้นที่ 2.....	51
4.10	แสดงภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่ (หลังคาแบบปั้นหยา) ผลการออกแบบวันที่ 25 เมษายน 45.....	54
4.11	แสดงภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่ (หลังคาแบบหน้าจั่ว) ผลการออกแบบวันที่ 25 เมษายน 45.....	54
4.12	แสดงภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่ผลการออกแบบวันที่ 12 มิถุนายน 45.....	55
4.13	แสดงภาพรวมของอาคารเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบบันไดหนีไฟ ผลการออกแบบวันที่ 4 กรกฎาคม 45.....	55
4.14	แสดงภาพรวมของอาคารเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของหลังคา ผลการออกแบบวันที่ 19 สิงหาคม 45.....	55
4.15	แสดงการตรวจสอบขนาดของบันไดหนีไฟโดยใช้แบบ 2 มิติเปรียบเทียบกับ การใช้แบบจำลองเสมือนจริง.....	56
4.16	ผลกระทบจากขนาดบันไดหนีไฟ ต่อ การปรับปรุงการกั้นผนังห้อง และ การใช้งานบันไดหนีไฟชั้น 5 และส่วนตกแต่งเพื่อเพิ่มความสวยงาม.....	56
4.17	แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบ พื้นที่ใช้งานอาคารที่ได้ออกแบบใหม่.....	57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4.18	ผลกระทบจากการเลือกประเภทโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก ต่อการออกแบบขนาดห้องของสถาปนิก	58
4.19	แสดงรูปแบบการศึกษาผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ด้านการติดต่อประสานงาน	62
4.20	แบบจำลองเสมือนจริงซึ่งแสดงลักษณะของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่	63
4.21	แบบจำลองเสมือนจริงซึ่งแสดงรูปแบบของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่อาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม	65
4.22	แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้พิจารณาทางเลือกในการวางตำแหน่งเสาภายในอาคารเพื่อรับน้ำหนักอาคารที่ออกแบบใหม่	69
4.23	แสดงภาพรวมภายนอกอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่	78
4.24	แสดงภาพรวมภายนอกอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่	78
4.25	แสดงภาพมุมเงยของแบบจำลองเสมือนจริง	79
4.26	แสดงการนำแบบรูปในลักษณะสองมิติมาใช้ในการแสดงขนาดของโครงสร้าง	80
4.27	แสดงภาพเหมือนจริงของอาคารในมุมมองต่างๆ (กรณีบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร)	81
4.28	แสดงภาพเหมือนจริงของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ในมุมมองต่างๆ (กรณีบันไดหนีไฟด้านหลัง)	83
4.29	แสดงผลกระทบจากตำแหน่งเสาเพื่อรองรับอาคารส่วนครอบ (กรณีวางตำแหน่งเสาเป็นสองแถว)	83
4.30	แสดงผลกระทบจากตำแหน่งเสาเพื่อรองรับอาคารส่วนครอบ (กรณีวางตำแหน่งเสาแถวเดียว)	84
4.31	แสดงผลกระทบจากตำแหน่งลิฟท์ของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อโครงสร้างและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2	84
4.32	แสดงรูปแบบโครงสร้างแบบ Vierendeel	90
4.33	พื้นที่ระหว่างอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมและอาคารไฟฟ้า	93
5.1	ตัวอย่างการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาสื่อสารระหว่างผู้ร่วมงานหลายๆ คน และการนำข้อมูลแบบ 3 มิติจากแบบจำลองเสมือนจริงไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ	98
5.2	แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบ	99

บทที่ หน้า

5.3 แสดงการนำเครื่องมือแบบผสมผสาน (แบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่าย) มาใช้ในการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบ..... 103

5.4 แสดงข้อเสนอแนะในการเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริง หรือใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน..... 109

6.1 แสดงรูปแบบการบันทึกข้อมูลบน CD-ROM สำหรับนำไปใช้ในการประชุมในที่ต่างๆ.. 118

6.2 แสดงการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการวางแผนการก่อสร้างเบื้องต้น..... 121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำเนินงานก่อสร้างเป็นการดำเนินงานที่ประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน ประกอบด้วยผู้ร่วมงานหลายฝ่าย ซึ่งมีความรู้และความชำนาญแตกต่างกัน เช่น เจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง วิศวกรงานระบบ ผู้รับเหมา และผู้เชี่ยวชาญเฉพาะต่างๆ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แต่ละฝ่ายจะทำงานที่ตนรับผิดชอบอย่างเป็นอิสระ อย่างไรก็ตามหากมีการตัดสินใจที่ผิดพลาดของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง ผลเสียที่เกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้อง (Akinsola *et al.* 2000, Anumba *et al.* 1997)

เพื่อให้โครงการก่อสร้างแล้วเสร็จอย่างประสบความสำเร็จมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ปัจจัยด้านการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างฝ่ายที่เกี่ยวข้องขณะดำเนินงานก่อสร้างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการดำเนินงานก่อสร้างซึ่งในแต่ละโครงการมักจะมีลักษณะการดำเนินงานที่แตกต่างกันและมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มของผู้ร่วมงานหรือติดต่อประสานงาน (Akinsola *et al.* 2000)

การติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างฝ่ายที่เกี่ยวข้องขณะดำเนินงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีความถูกต้อง มีความเที่ยงตรง และสามารถสื่อสารข้อมูลให้ผู้ร่วมงานเกิดความเข้าใจตรงกันตามเวลาที่ได้ตกลงกันไว้ (Akinsola *et al.* 2000) ความต้องการด้านการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ดีจะมีความต้องการมากยิ่งขึ้นในกรณีที่โครงการก่อสร้างมีความไม่ชัดเจน มีความซับซ้อนหรือมีหลายหน่วยงานซึ่งเป็นอิสระจากกันเข้ามาเกี่ยวข้อง (Ahmad and Ahmed, 2001)

ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากขาดการสื่อสารที่ดี เช่น ผลการออกแบบไม่ตรงตามความต้องการข้องเจ้าของโครงการ แบบรูปไม่ชัดเจนหรือไม่ครบถ้วนทำให้ก่อสร้างผิดหรือไม่สามารถก่อสร้างจริงได้ เป็นต้น จากผลของการประสบปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดความสูญเสียทางทรัพยากร เวลาและค่าใช้จ่าย (Anumba *et al.* 1997)

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการขาดการสื่อสารที่ดี คือ การนำเทคโนโลยีด้าน Virtual Reality มาสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง (Virtual Model) สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยแบบจำลองเสมือนจริงเป็นการนำความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมาสร้างแบบจำลองภายใน Virtual Space ให้มีลักษณะเหมือนกับความเป็นจริงภายในเครื่อง

คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญคือ ผู้ใช้สามารถเห็นข้อมูลแบบ 3 มิติในมุมมองที่ผู้ใช้ต้องการได้ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้แบบ Real Time ผ่านอินเตอร์เน็ตได้

ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงาน โดยนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการดำเนินงานและสื่อสารข้อมูลระหว่างการดำเนินงานก่อสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ อันได้แก่ (1) งานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงโดยศึกษาข้อมูลจากแบบจำลองซึ่งไม่ได้มีการประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง เช่น Grant and Lai (1998) Lipman and Reed (2000) เป็นต้น ผลลัพธ์ของงานวิจัยในลักษณะนี้เป็นการแสดงประโยชน์ที่น่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้แบบจำลองเสมือนจริง แต่ในความเป็นจริงอาจมีปัจจัยซึ่งแตกต่างจากปัจจัยที่พิจารณาในแบบจำลอง ทำให้ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้นอาจไม่เป็นจริงเมื่อมีการนำผลงานวิจัยในลักษณะนี้มาใช้งานจริง (2) งานวิจัยที่มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงซึ่งมุ่งเน้นการแสดงประโยชน์ของแบบจำลองเสมือนจริง และไม่ได้แสดงรายละเอียดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริง รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริง เช่น งานวิจัยของ Ogata et al. (2000) Whyte et al. (2000) และ Ogata et al. (1999) เป็นต้น

นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานในโครงการที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดในการทำงานมาก

จากข้อจำกัดของงานวิจัยข้างต้นทำให้งานวิจัยนี้มีความสนใจทำการศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงออกแบบ โดยศึกษาข้อมูลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้ในการดำเนินงานจริงในกรณีศึกษา โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีข้อจำกัดในการดำเนินงานหลายประการอันได้แก่ (1) ข้อจำกัดด้านตำแหน่งเครื่องทดสอบที่มีขนาดใหญ่ มีราคาสูง เคลื่อนย้ายได้ลำบาก (2) ข้อจำกัดด้านขนาดและตำแหน่งของโครงสร้างเดิม (3) ข้อจำกัดด้านกายภาพของบริเวณโดยรอบอาคาร (4) ข้อจำกัดด้านการใช้งานอาคารปฏิบัติการ (เดิม) ระหว่างการก่อสร้าง ทำให้การออกแบบของสถาปนิกและวิศวกรจำเป็นต้องมีการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบเพื่อให้ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดดังกล่าว รวมทั้งคำนึงถึงวิธีและขั้นตอนการทำงานระหว่างการก่อสร้างที่มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง ซึ่งมีพื้นที่จำกัดและมีราคาไม่สูง นอกจากนี้จำเป็นต้องมีการพิจารณาด้านความสวยงามของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ และความสอดคล้องกับอาคารโดยรอบ

จากลักษณะการดำเนินงานในโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการและจำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารที่ดีระหว่างสถาปนิกและวิศวกรต่างๆ ทำให้โครงการนี้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาภายในงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริงในช่วงออกแบบ (Design Stage) โดยทำการศึกษาจากกรณีศึกษา "โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม" มีจุดประสงค์ในการศึกษา คือ

1) เพื่อศึกษาประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการดำเนินงาน การติดต่อประสานงานและการสื่อสารในช่วงการออกแบบ
2) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องมือสำหรับดำเนินงานที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก โดยการพิจารณาจากความสามารถในการนำมาใช้งานด้านก่อสร้าง รวมทั้งระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น
3) เพื่อศึกษาแนวทางการนำเครื่องมือไปใช้ในการดำเนินงานจริงที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก อันได้แก่ แนวทางการพิจารณาเลือกซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ข้อมูลด้านเทคนิคของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและมีความสามารถเพียงพอต่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานอันได้แก่ ซีพียู หน้าจอคอมพิวเตอร์ คีย์บอร์ดและเมาส์ โดยไม่มีการใช้ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม

การเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านราคาของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สามารถหาได้และมีราคาไม่สูง แต่มีความสามารถเพียงพอสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริง

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Virtual Reality (VR) หมายถึง การใช้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมาสร้าง virtual space ให้มีลักษณะเหมือนกับความเป็นจริง ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ (Ogata et al., 1998)

Virtual Model (VM) หรือแบบจำลองเสมือนจริง เป็นส่วนหนึ่งของ Virtual Reality โดย Virtual Model เป็นการสร้างแบบจำลองให้มีลักษณะเหมือนจริงใน Virtual space ภายในคอมพิวเตอร์ แต่ทำแบบจำลองเฉพาะในขอบเขตของสิ่งที่ทำการศึกษา (Ogata et al., 1998)

เครื่องมือแบบผสมผสาน หมายถึง การใช้เครื่องมืออันได้แก่ แบบ 2 มิติ ภาพถ่ายจากสถานที่จริงและแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการดำเนินงานและการติดต่อประสานงานและผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลจากแบบ 2 มิติ ภาพถ่ายจากสถานที่จริงและแบบจำลองเสมือนจริงในขณะเดียวกันได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

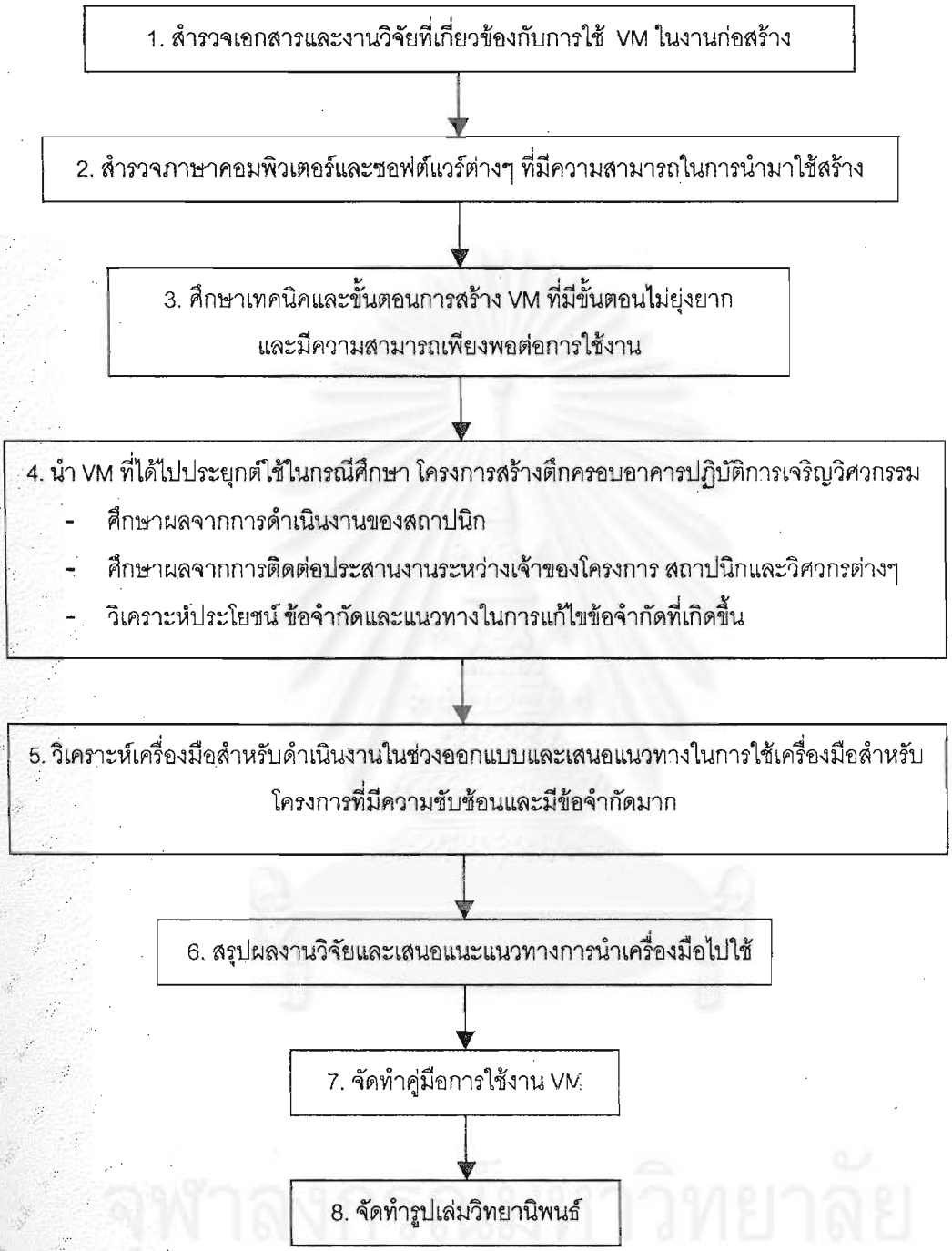
1) ทราบถึงประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขข้อจำกัดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานและการติดต่อประสานงานช่วงออกแบบ
2) ทราบแนวทางการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการสื่อสารและการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ดีระหว่างการติดต่อประสานงานกับฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3) ทราบแนวทางการนำเครื่องมือไปใช้ในการดำเนินงานจริงที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก อันได้แก่ ทราบแนวทางการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง และทราบข้อมูลด้านเทคนิคจากตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับนำไปใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงในโครงการอื่นๆ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง อันได้แก่
   - -แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลองเสมือนจริง
   - -การแปลงข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง
   - -ภาษา Virtual Reality Modeling Language (VRML)
   - -การเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเสมือนจริง
   - -ศึกษาหลักการ การพัฒนาและผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้

2) สำรวจภาษาคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่มีความสามารถในการนำมาใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง จากแหล่งข้อมูลอันได้แก่ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การส่งจดหมายสอบถามผู้มีประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง การค้นหาด้วยการ Search และการทดลองปฏิบัติ สำหรับใช้พิจารณาเลือกเครื่องมือที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง
3) ศึกษาเทคนิคและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและมีความสามารถเพียงพอต่อการใช้งาน จากการทดลองภาคปฏิบัติ
4) นำแบบจำลองเสมือนจริงที่ได้ไปทดลองใช้งานจริงในกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม โดยทำการศึกษา
   4.1) การดำเนินงานของสถาปนิก
      - การพิจารณาทางเลือกในการออกแบบและการตรวจสอบความถูกต้องของผลการออกแบบโดยสถาปนิก
   4.2) การติดต่อประสานงานระหว่างเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง
      - การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อประสานงานกับเจ้าของโครงการ
      - การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง ซึ่งแบ่งออกเป็นงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างและงานฐานราก โดยในแต่ละงานจะพิจารณาใน 3 ประเด็นอันได้แก่ การพิจารณาทางเลือกในการออกแบบ ความสามารถก่อสร้างได้และผลกระทบจากการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบที่ส่งผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้อง
   4.3) วิเคราะห์ประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงในการดำเนินงานและการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบ
5) วิเคราะห์เครื่องมือสำหรับดำเนินงานในช่วงออกแบบและเสนอแนวทางในการใช้เครื่องมือของโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก
6) สรุปผลงานวิจัย และเสนอแนะแนวทางการนำเครื่องมือไปใช้ในการดำเนินงานจริงที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก
7) จัดทำคู่มือการใช้งานแบบจำลองเสมือนจริง
8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการศึกษาด้านการนำเทคโนโลยีของแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงมีการศึกษาไม่มากนัก เนื่องจากการศึกษาเรื่องแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่และมีลักษณะแตกต่างจากการดำเนินงานที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไปในปัจจุบันซึ่งนิยมใช้ข้อมูลจากแบบพิมพ์เขียวซึ่งมีลักษณะสองมิติมาใช้ในการติดต่อสื่อสาร

นอกจากนี้ผู้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงจำเป็นต้องมีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์พอสมควร อันได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการสร้างภาพกราฟิกสามมิติภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ และความรู้อันเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ในกรณีที่ต้องการใช้แบบจำลองเสมือนจริงสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต ผู้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงจำเป็นต้องมีความรู้ด้านการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

จากลักษณะดังกล่าว ทำให้ปัจจุบันการศึกษาเรื่องการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างมีผู้ศึกษาไม่มากนัก ทั้งๆ ที่แบบจำลองเสมือนจริงน่าจะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากในการนำมาใช้พัฒนาการดำเนินงานก่อสร้าง

อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจเชิงเอกสารที่ผ่านมาสามารถแบ่งกลุ่มของการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้ 5 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นเรื่องของแนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลองเสมือนจริง กลุ่มที่สองเป็นการแปลงข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง กลุ่มที่สามเป็นเรื่องของภาษา Virtual Reality Modeling Language (VRML) กลุ่มที่สี่เป็นเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเสมือนจริง และกลุ่มสุดท้ายเป็นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลองเสมือนจริง

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความหมายของคำว่า Virtual Reality และ Virtual Model (แบบจำลองเสมือนจริง) อันได้แก่

Zeltzer (1992) กล่าวถึงลักษณะสำคัญสามประการของ Virtual Reality ซึ่งประกอบด้วย

(1) PRESENCE : มีการสร้างเป็นโมเดลในลักษณะสามมิติภายใน virtual space ในเครื่องคอมพิวเตอร์

(2) INTERACTION : มีการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ real time

(3) AUTONOMY : มีความเป็นอิสระในการดำเนินการใด ๆ ภายใน virtual space

Virtual Reality หมายถึง เป็นเทคโนโลยีที่นำข้อมูลมาแปลงเป็นข้อมูลในรูปแบบสามมิติที่สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยใช้เทคโนโลยีด้านมัลติมีเดีย เพื่อให้การนำเสนอข้อมูลและการจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Fairchild 1993)

Ogata และคณะ(1998) ให้ความหมายของคำว่า Virtual Reality และคำว่า Virtual Model ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

Virtual Reality (VR) หมายถึง การใช้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมาสร้าง virtual space ให้มีลักษณะเหมือนกับความเป็นจริง ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

Virtual Model (VM) หรือแบบจำลองเสมือนจริง เป็นส่วนหนึ่งของ Virtual Reality โดย Virtual Model เป็นการสร้างแบบจำลองให้มีลักษณะเหมือนจริงใน Virtual space ภายในคอมพิวเตอร์ แต่ทำแบบจำลองเฉพาะในขอบเขตของสิ่งที่ทำการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความหมายของ Virtual Reality และ Virtual Model (แบบจำลองเสมือนจริง) ตามงานวิจัยของ Ogata และคณะ เนื่องจากให้ความหมายของคำทั้งสองค่อนข้างชัดเจนและมีความทันสมัย

เริ่มแรกได้มีการนำหลักการทางด้านแบบจำลองเสมือนจริงมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมด้านความบันเทิง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ยังไม่เป็นที่นิยมนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากคอมพิวเตอร์ในยุคนั้นมีความสามารถไม่สูงนักและมีราคาสูง แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาจนมีความสามารถสูงและมีราคาต่ำ ทำให้การนำหลักแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและเริ่มเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ในการดำเนินการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ใช้ในการฝึกสอนทางการแพทย์ และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในส่วนต่างๆ ของงานก่อสร้างซึ่งผู้เขียนได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.5 ซึ่งเป็นส่วนของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 การแปลงข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงให้เห็นขั้นตอนที่สำคัญของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการแสดงทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการแปลงข้อมูลแบบสามมิติที่สร้างจากโปรแกรม CAD ไปเป็นข้อมูลแบบสามมิติภายในแบบจำลองเสมือนจริง และขั้นตอนที่สองเป็นการแสดงให้เห็นรูปแบบการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะต่างๆ

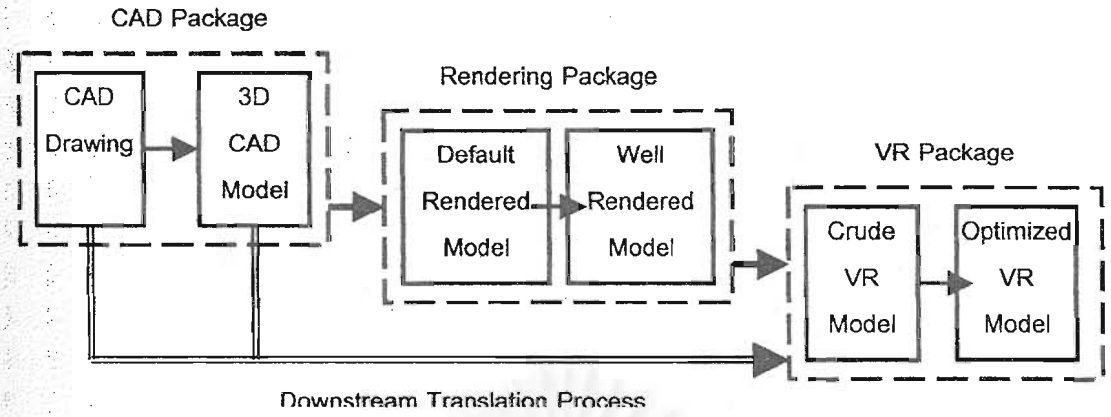
2.2.1 การแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ CAD (Computer aided design and drafting) ไปยังแบบจำลองเสมือนจริง

กระบวนการแปลงข้อมูลในปัจจุบันจากโปรแกรม CAD ไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริงเป็นลักษณะแบบทิศทางเดียว (Downstream) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปจะเห็นว่าการแปลงข้อมูลหรือโมเดลจากโปรแกรม CAD ไปเป็นข้อมูลแบบสามมิติภายในแบบจำลองเสมือนจริงสามารถทำได้สองวิธีคือ

(1) การแปลงข้อมูลหรือโมเดลจากโปรแกรม CAD (CAD Package) ไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริง (VR Package) โดยตรง ลักษณะการแปลงข้อมูลแบบนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นการสร้างข้อมูลแบบสามมิติบนโปรแกรม CAD ขั้นที่สองเป็นการแปลงข้อมูลหรือโมเดลที่ต้องการไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

แม้ว่าลักษณะการแปลงข้อมูลแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการนำมาใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง แต่การใช้วิธีนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ แบบจำลองเสมือนจริงที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วยวิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนของการแสดงผลของข้อมูล โดยโมเดลที่แสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงจะมีลักษณะแตกต่างจากโมเดลที่สร้างจากโปรแรม CAD จากข้อจำกัดดังกล่าวทำให้จำเป็นต้องมีการลองผิดลองถูกในการสร้างโมเดลในโปรแกรม CAD เพื่อให้สามารถแปลงมาเป็นแบบจำลองเสมือนจริงตามลักษณะที่ผู้สร้างต้องการ

Bourdakis (1996) ได้กล่าวไว้ว่า ผู้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่สูญเสียไปกับการปรับปรุงแบบจำลองในซอฟต์แวร์ CAD ให้เหมาะสมกับการแปลงข้อมูล และระยะเวลาที่ลดลงจากการปรับปรุงการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง



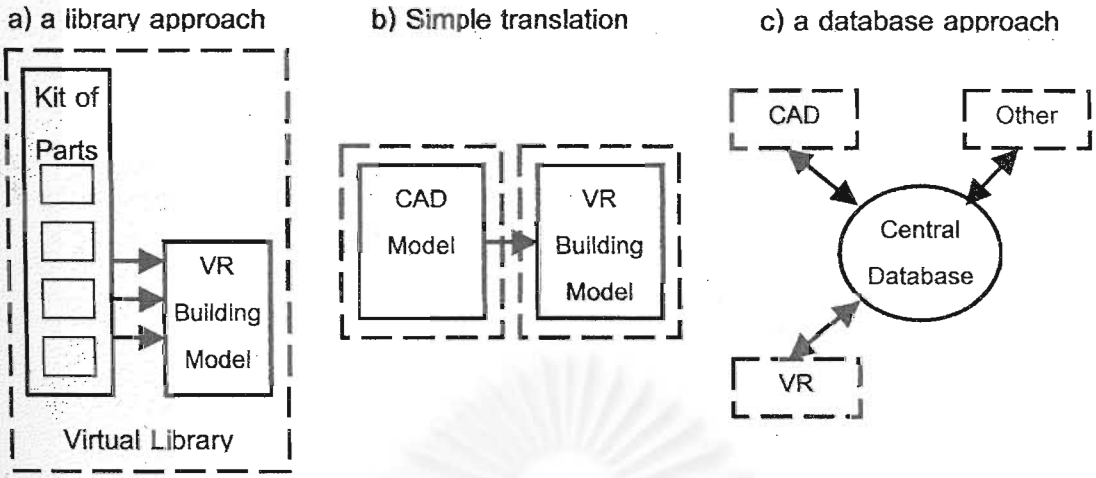
รูปที่ 2.1 กระบวนการในการแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ CAD ไปยัง VR (Whyte *et al.* 1998).

(2) การแปลงข้อมูลหรือโมเดลจากโปรแกรม CAD ไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้โปรแกรมช่วยในการแปลงข้อมูล (Rendering package) ลักษณะการแปลงข้อมูลแบบนี้ประกอบด้วยสามขั้นตอนอันได้แก่ ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างข้อมูลแบบสามมิติบนโปรแกรม CAD ขั้นตอนที่สองเป็นการส่งข้อมูล (Export) ไปยังโปรแกรมช่วยในการแปลงข้อมูล (Rendering package) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการแปลงข้อมูลดังกล่าวจากโปรแกรมช่วยในการแปลงข้อมูลไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

แม้ว่าการแปลงข้อมูลด้วยวิธีนี้จะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่าวิธีแรก แต่ข้อมูลแบบสามมิติภายในแบบจำลองเสมือนจริงที่ได้จะมีคุณภาพในการแสดงผลที่ดีกว่าวิธีการแปลงข้อมูลในวิธีแรก

2.2.2 วิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

หัวข้อนี้เป็นการแสดงวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยจำแนกตามรูปแบบการนำข้อมูลแบบ 3 มิติที่ได้จากหัวข้อ 2.2.1 มาสร้างและแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะต่างๆ ซึ่งมีอยู่ 3 วิธี อันได้แก่ A library approach, simple translation และ a database approach (Whyte, et al., 1998) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง (Whyte, *et al*. 1998)

a) A Library-Based Approach

A Library-Based Approach เป็นการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริง เริ่มจากการสร้างห้องสมุด (Library) ของส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองเสมือนจริงที่คาดว่าจะมีการนำมาใช้หลายครั้ง (โดยทั่วไปมักจะเป็น Standard parts) เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้จึงนำส่วนประกอบที่สร้างไว้ มาประกอบกันและแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงตามต้องการ ดังรูป 2.2(a) วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถช่วยลดระยะเวลาในการแปลงข้อมูล เช่น ถ้าลักษณะงานเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของบ้าน การใช้วิธีนี้ก็เริ่มด้วยการสร้างห้องสมุด (Library) ของส่วนประกอบที่ใช้ซ้ำหลายครั้งไว้ล่วงหน้า เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้งาน สามารถเลือกชิ้นส่วนประกอบที่ได้สร้างไว้มาประกอบกันเป็นบ้านทั้งหลังได้ โดยไม่ต้องเสียเวลาในการสร้างโมเดลในโปรแกรม CAD และแปลงมาเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จำเป็นต้องใช้เวลาและความพยายามในช่วงเริ่มต้นของการสร้างห้องสมุด (Library) ของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองเสมือนจริง (Standard parts) แต่เวลาและความพยายามดังกล่าวสามารถชดเชยได้กับ เวลาและความพยายามที่ลดน้อยลง หากจำนวนครั้งของการนำส่วนประกอบดังกล่าวมาใช้ซ้ำมีมากขึ้น (Scott and Howe, 1997)

b) A Straightforward Translation Approach

Straightforward Translation Approach หรือวิธี Simple Translation เป็นการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริง โดยเริ่มจากการสร้างโมเดล CAD จนแล้ว

เสร็จสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำมาแปลงข้อมูลให้กลายเป็นโมเดลของแบบจำลองเสมือนจริง ดังรูป 2.2(b)

วิธีการนี้นิยมใช้ในสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของโครงการวิจัยที่มีส่วนประกอบซึ่งมีจำนวนครั้งของการใช้ซ้ำไม่มากนัก หรือใช้ในกระบวนการออกแบบที่ตัวแบบได้ถูกออกแบบจนเสร็จสมบูรณ์และไม่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบแล้ว (Whyte, et al.,1998)

c) A Database Approach

Database Approach เป็นการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงโดยทำการดึงข้อมูลแบบสามมิติจากฐานข้อมูลตัวกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2(c) รูปแบบนี้เริ่มจากการสร้างฐานข้อมูลตัวกลางที่ประกอบด้วยส่วนประกอบ (component) ของ CAD แบบจำลองเสมือนจริงและส่วนประกอบด้านกราฟิกสามมิติอื่นๆ เมื่อต้องการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสามารถเรียกข้อมูลแบบสามมิติของส่วนประกอบต่างๆ จากฐานข้อมูลตัวกลาง มาประกอบกันเป็นแบบจำลองเสมือนจริง (Alshawi,1995; Aouad, et al., 1997)

2.3 ภาษา VRML และเทคโนโลยีภาพสามมิติบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

Virtual Reality Modeling Language (VRML) หรือ Virtual Reality World เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ภาษา VRML อาศัยหลักการแสดงผลกราฟิกสองมิติและสามมิติเช่นเดียวกับแบบ OpenGL ซึ่งเป็นวิธีการแสดงผลของบริษัท Silicon Graphic ภาษา VRMLได้มีการนำเสนออย่างเป็นทางการเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1992

ภาษา VRML ทำงานภายใต้พื้นฐานของ Web Browser-server ทั่วไป โดยอาศัยรูปแบบ URL ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต World Wide Web (WWW)

ลักษณะเด่นของภาษา VRML เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงหรือใช้ในการสร้างโฮมเพจสามมิติ (3D-Homepage) ที่สามารถใช้ในการติดต่อ การแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ตามต้องการ นอกจากนี้ภาษา VRML ยังมีจุดเด่นที่สำคัญคือการประมวลผลแบบจำลองเสมือนจริงที่สร้างด้วยภาษา VRML จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องคอมพิวเตอร์และชนิดของระบบปฏิบัติการบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้พัฒนาแบบจำลองเสมือนจริงมีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือระบบปฏิบัติการบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ตามต้องการ

ปัจจุบันภาษา VRML ถือว่าเป็นภาษามาตรฐานสากลสำหรับแบบจำลองเสมือนจริง

(VRML'97-ISO/IEC 14772) ซึ่งสามารถใช้ในการแสดงข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะใกล้และระยะไกลได้ การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงด้วยภาษา VRML ผู้ใช้ต้องเขียนชุดคำสั่งด้วยตัวอักษรตามไวยกรณ์ของภาษา VRML และในการแสดงผลจำเป็นต้องประมวลผลผ่าน plug-in ภายใน web browser ของ Netscape หรือ Internet Explorer

แม้ว่าภาษา VRML ถือว่าเป็นภาษามาตรฐานสากลสำหรับแบบจำลองเสมือนจริง แต่ในปัจจุบันพบว่า ไม่มีการนำภาษา VRML มาพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความยุ่งยากในการเขียนชุดคำสั่งด้วยตัวอักษรตามไวยกรณ์ของภาษา VRML ทำให้หลายฝ่ายคาดว่าในอนาคตอันใกล้ภาษา VRML จะถูกแทนที่ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่มีความสามารถในการดำเนินงานมากกว่าภาษา VRML (Whyte, 2000)

2.4 การเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองเสมือนจริง

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่ดีควรมีการคำนึงถึงประสิทธิภาพด้านการแสดงผล โดยแบบจำลองเสมือนจริงที่มีประสิทธิภาพด้านการแสดงผลที่ดีควรมีคุณสมบัติ 2 ประการที่เกี่ยวเนื่องกันคือ (1) ควรมีขนาดไฟล์ที่เล็กที่สุดเท่าที่จำเป็น (2) เมื่อนำไปใช้งานควรมีความเร็วในการประมวลผลหรือการแสดงภาพสูง ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองประการดังกล่าวเป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เช่น แบบจำลองเสมือนจริงมีขนาดไฟล์เล็ก เมื่อนำไปใช้งานจะมีความเร็วในการประมวลผลหรือการแสดงภาพสูง เป็นต้น (ชีวาวัฒน์, 2544)

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงที่จะนำเสนอต่อไปนี้สามารถนำมาใช้ได้กับโมเดลของแบบจำลองเสมือนจริงที่สร้างด้วยวิธีต่างๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นได้

ชีวาวัฒน์ (2544) ได้แนะนำวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง อันได้แก่

(1) พยายามใช้วัตถุที่มีรูปทรงพื้นฐานที่มีรายละเอียดหรือมีความสลับซับซ้อนน้อยๆ

ตัวอย่างรูปทรงพื้นฐาน เช่น รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ รูปทรงสามเหลี่ยมปิระมิด หรือ รูปทรงกระบอก เป็นต้น การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงควรมีการนำรูปทรงพื้นฐานดังกล่าวมาเป็นส่วนประกอบของแบบจำลองเสมือนจริง และพยายามใช้วัตถุซึ่งมีเหลี่ยมมุมที่ไม่จำเป็นให้น้อยที่สุด

(2) พยายามใช้เทคนิคที่เรียกว่า Texture mapping พยายามใช้รูปภาพมาแปะติดบนพื้นผิววัตถุแทนการสร้างลายละเอียดบนพื้นผิววัตถุนั้น

(3) ขณะสร้างแบบจำลองเสมือนจริงควรคำนึงถึงระยะที่ผู้ใช้งานเข้าไปชมภาพ (Level of details, LOD) ถ้าวัตถุใดมองเฉพาะในจุดที่อยู่ไกลและไม่จำเป็นต้องเข้าไปชมรายละเอียดของ

วัตถุ ควรใช้ภาพแทนการใช้วัตถุ (โมเดล 3 มิติ) หรือกำหนดรายละเอียดของวัตถุให้มีค่าต่ำๆ เพื่อให้ขนาดของไฟล์มีขนาดเล็กลง อันส่งผลให้ความสามารถด้านการประมวลผลดียิ่งขึ้น

(4) ควรมีการโหลดข้อมูลและแสดงภาพในส่วนที่ต้องการให้มองเห็นเท่านั้น ไม่ควรโหลดข้อมูลและแสดงภาพในส่วนที่ไม่จำเป็น เช่น ต้องการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงเพื่อแสดงถึงภาพทิวทัศน์โดยรอบตัวบ้าน ไม่ควรโหลดข้อมูลและแสดงภาพในส่วนที่ไม่จำเป็น เช่น ลักษณะผนังภายในตัวบ้าน รายละเอียดของห้องน้ำ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงดังกล่าวข้างต้นเป็นเพียงข้อเสนอแนะเพื่อแสดงข้อควรคำนึงถึงแก่ผู้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำหลักการของ Virtual Reality มาพัฒนาเป็น Virtual Model สำหรับประยุกต์ใช้ในส่วนต่างๆ ของงานก่อสร้างอันได้แก่

2.5.1 การประยุกต์ใช้กับฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม

Grant and Lai (1998) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Simulation Modeling with Artificial Reality Technology (SMART) ซึ่งเป็น simulation modeling tool ตัวหนึ่งที่ช่วยให้สามารถสร้างโมเดลแบบจำลองสถานการณ์ที่เป็นรูปภาพแบบ 3 มิติภายใน Virtual Reality ได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยโมเดลแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นนี้เป็นการนำโนด(Node) และอาร์ก(Arc) มาประกอบกันจนกลายเป็นรูปภาพ

การใช้ SMART จำเป็นต้องมีส่วนประกอบหรือฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม ดังนี้

(1) Electronic glove : งานวิจัยนี้เลือกใช้ Electronic glove ชนิด 5D Glove (Fifth Dimension Technologies)

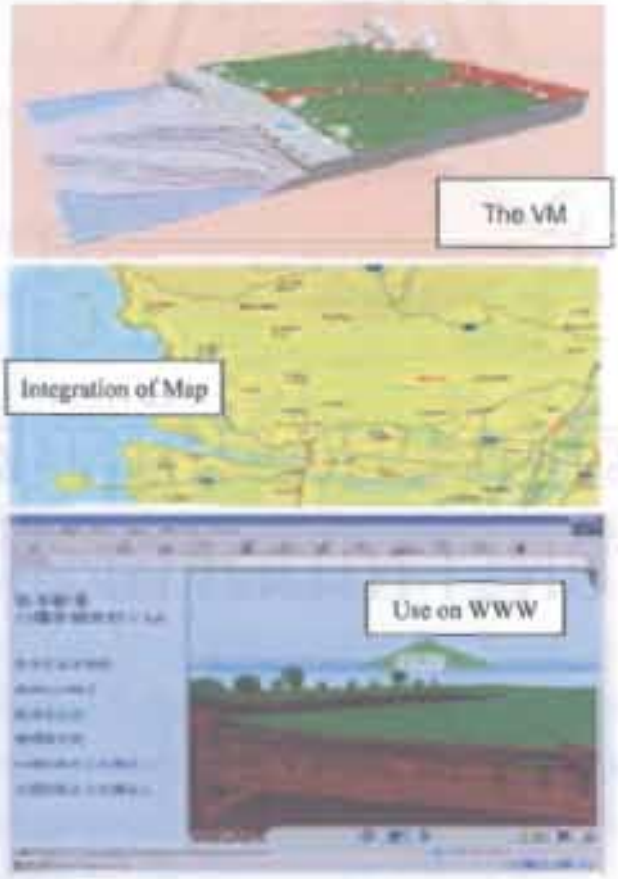
(2) Head-mounted display : งานวิจัยนี้เลือกใช้ Head-mounted display ชนิด VIO I-Glasses (Virtual I-O)

เมื่อผู้ใช้งาน SMART ทำการใส่ 5D Glove ผู้ใช้จะรู้สึกเสมือนกับการเข้าไปอยู่ใน Virtual space และมีความสามารถในการจัดการโมเดลแบบจำลองสถานการณ์ในลักษณะภาพสามมิติได้ การใช้งานสามารถทำได้โดยการขยับมือซึ่งใส่ 5D Glove ในขณะเดียวกันผู้ใช้จะเห็นภาพมือใน Virtual space ขยับตามต้องการ

เมื่อผู้ใช้ใส่ VIO I-Glasses (Virtual I-O) เสมือนกับผู้ใช้เข้าไปอยู่ใน Virtual world หากผู้ใช้ต้องการมองไปในทิศทางใดของ Virtual world ผู้ใช้สามารถทำได้โดยการขยับหน้า (ซึ่งใส่ VIO I-Glasses) ไปในทิศทางที่ต้องการ ภาพที่ผู้ใช้เห็นภายใน Virtual space จะเปลี่ยนไปตามทิศทางที่ผู้ใช้งานได้ขยับหน้าไป ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในโลกของความเป็นจริง คือ เมื่อต้องการมองวัตถุที่อยู่บริเวณอื่นที่ไม่ได้อยู่ตรงหน้า สามารถทำได้โดยการหันหน้าไปดูได้ตามต้องการ

2.5.2 การประยุกต์ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดของแผนที่

Ogata et al. (1999) ได้นำแนวความคิดทางด้าน Virtual Reality technology มาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและทางสถาปัตยกรรม โดยใช้ Virtual Model แทนการใช้แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Mock Up, PMU) ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ Virtual Reality Technology โดยใช้ซอฟต์แวร์ Superscape (www.superscape.com) ซึ่งเป็นการนำแผนที่มาเชื่อมโยงกับแบบจำลองเสมือนจริง เมื่อผู้ใช้เลือกจุดบนแผนที่ก็สามารถเชื่อมโยงกับแบบจำลองเสมือนจริงได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนที่ซึ่งสามารถทำการเชื่อมโยงกับแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะสามมิติได้ (Ogata, et al. 1999)

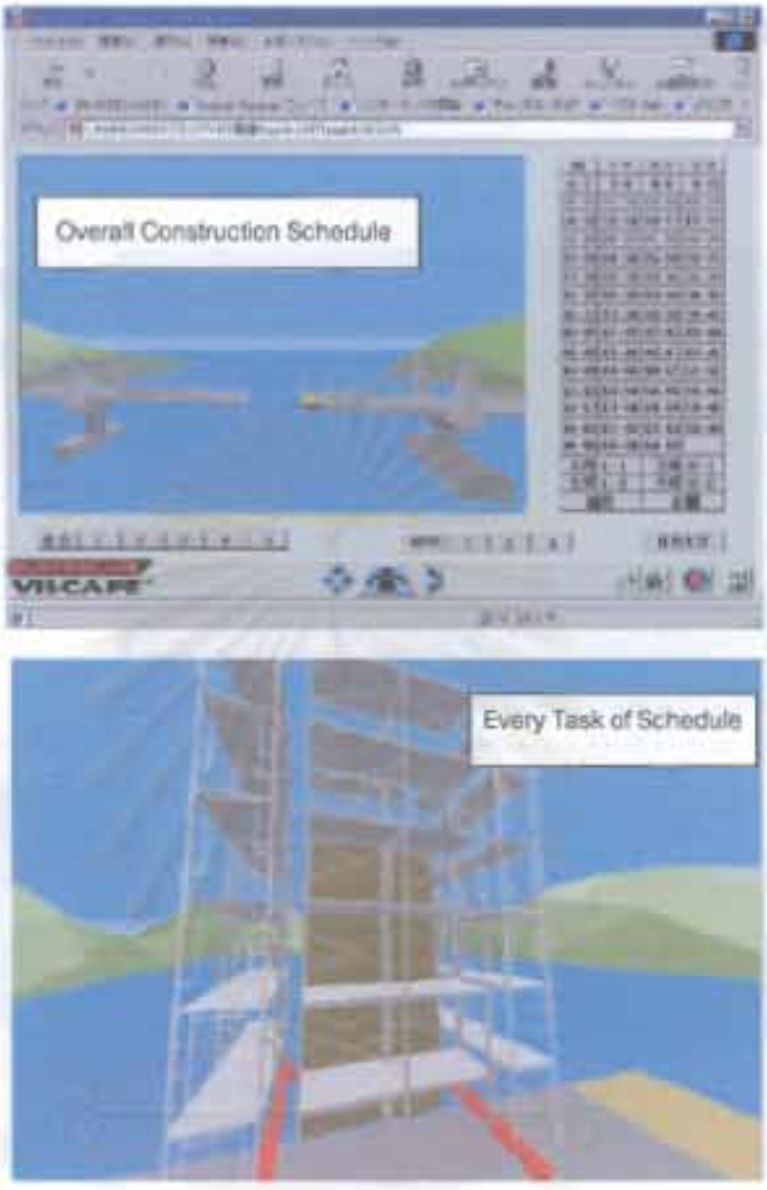
ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้งานจริง โดย Konoike Construction Co, Ltd. ซึ่งเป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้ในการนำเสนอผลงานให้แก่ลูกค้าของอุทยานอุตสาหกรรม (industrial park) จำนวน 19 โครงการ ผลจากการนำไปใช้พบว่าแบบจำลองเสมือนจริงได้รับการประเมินขั้นสูง จำนวน 9 โครงการ ปัจจัยด้านความมีคุณค่าในการนำไปใช้และผู้ใช้ต้องการให้มีการใช้อีกจำนวน 6 โครงการและปัจจัยด้านความง่ายในการทำความเข้าใจและความน่าสนใจ จำนวน 8 โครงการ

2.5.3 ประยุกต์ใช้ในการวางแผนก่อนการก่อสร้าง

Ogata et al. (2000) ได้ทำการศึกษาวงจรของกระบวนการจัดการในการดำเนินการก่อสร้างอันได้แก่ การวางแผน การปฏิบัติ การตรวจสอบ และการปรับปรุงแก้ไข จากลักษณะของกระบวนการดังกล่าวพบว่า ถ้าหากไม่มีการวิเคราะห์ การวางแผนที่ดีเมื่อดำเนินการปฏิบัติการอาจพบข้อผิดพลาดจะทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือแก้ไขงาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการดังกล่าว Ogata et al. จึงได้มีการนำหลักการของการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยใช้ Virtual Model เป็นเครื่องมือ ซึ่งช่วยให้การวางแผนงานสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและลดปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นหลังจากเริ่มลงมือทำงานแล้ว อันจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

Virtual Model เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยให้เกิดความเข้าใจตรงกันระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้าง ซึ่ง Virtual Model จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อกับข้อมูลแบบดิจิตอลที่เกี่ยวกับโครงการก่อสร้าง เช่น CAD drawing, digital maps of periphery, scanned aerial photographs, on-site digital photos and documents ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Virtual Reality technology

หลักการสำคัญของ Virtual Model สำหรับโครงการก่อสร้าง คือ มีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยผู้ใช้สามารถ Download ข้อมูลหรือซอฟต์แวร์ได้จากเว็บไซต์ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถทำการแลกเปลี่ยนความคิด ข้อคิดเห็น ความน่าสนใจต่าง ๆ ของโครงการก่อสร้างผ่าน WWW ได้ จากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันของฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้าง เช่น ฝ่ายของเจ้าของโครงการ ฝ่ายของผู้ออกแบบ และฝ่ายของผู้รับเหมา จากการนำไปทดลองใช้กับการดำเนินงานโครงการก่อสร้างในประเทศญี่ปุ่น (บริษัท The Sashiki Bridge Construction) ซึ่งเป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้เพื่อแสดงภาพ 3 มิติของโครงการในช่วงของการดำเนินงานก่อสร้างในขั้นตอนที่มีความยุ่งยาก ดังรูปที่ 2.4

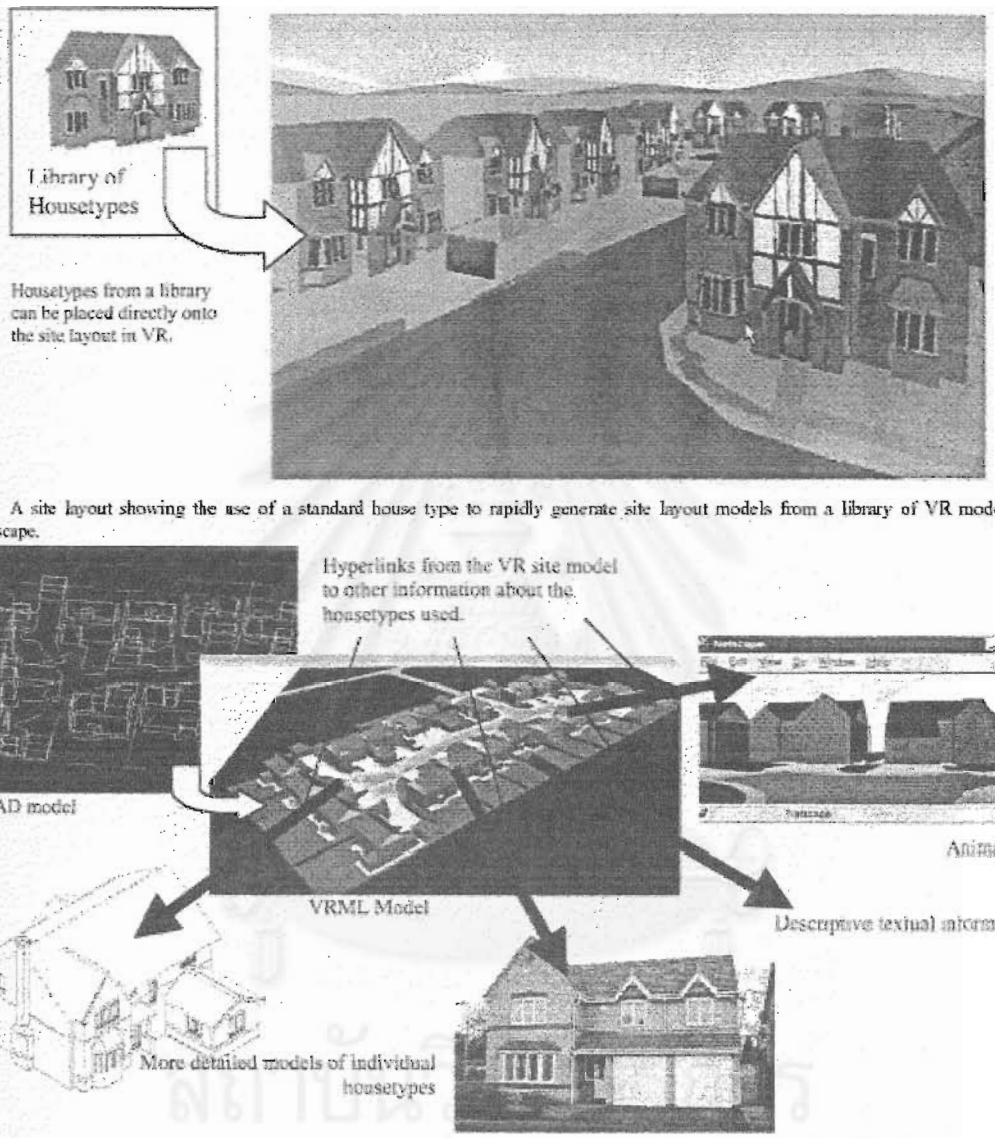


รูปที่ 2.4 แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงแสดงภาพลามิติของโครงการและภาพ 3 มิติในช่วงของการดำเนินงานก่อสร้างในขั้นตอนที่มีความไม่ชัดเจนหรือยากต่อการทำความเข้าใจ (Ogata, et al. 2000)

2.5.4 ประยุกต์ใช้ในการวางผังเมือง

Whyte et al. (2000) ได้ศึกษาการส่งผ่านข้อมูลจากระบบ Computer-Aided Design (CAD) ไปยังระบบ Virtual Reality ซึ่งทดลองนำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนเพื่อทำ Site layout ที่ Loughborough University ประเทศอังกฤษ โดยเริ่มจากการสร้างบ้านในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม AutoCAD หลังจากนั้นทำการแปลงรูปแบบของข้อมูลที่สร้างจาก โปรแกรม AutoCAD ให้อยู่ในระบบ Virtual Reality โดยใช้โปรแกรม Superscape เพื่อทำเป็นฐานข้อมูลของบ้านในรูป

แบบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ Virtual Reality การนำไปใช้งานสามารถทำได้โดยการนำบ้านในฐานข้อมูลดังกล่าวไปวางใน Virtual space ซึ่งผู้ใช้สามารถวางแผน Site layout ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถเข้าไปชมในมุมมองที่ตนต้องการได้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบของบ้านที่อยู่ในระบบ Virtual Reality ซึ่งผู้ใช้สามารถวางแผน Site layout ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถเข้าไปชมในมุมมองที่ตนต้องการได้ (Whyte, et al. 2000)

2.5.5 ประยุกต์ใช้สำหรับจำลองการก่อสร้าง

Lipman and Reed (2000) ได้นำ Virtual Reality Modeling Language หรือที่เรียกว่า ภาษา VRML97 มาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง โดยสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงของโครงสร้างเหล็ก และแบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องจักรก่อสร้าง โดยมีจุดมุ่งหมายของงานวิจัยคือ ต้องการที่จะหาเครื่องมือที่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารข้อมูลในรูปแบบสามมิติผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตทั้งในด้านของการจัดการ การเข้าถึงข้อมูล และการดูข้อมูลของโครงการก่อสร้างในมุมมองต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบของแบบจำลองเสมือนจริงของโครงสร้างเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยคาน ที่มีหน้าตัดประเภทต่าง ๆ ที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก การใช้งานจะนำคานที่มีหน้าตัดตามที่ต้องการมาประกอบกันเป็นโครงสร้างเหล็ก ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 แสดงแบบจำลองเสมือนจริงของโครงสร้างเหล็ก (Lipman and Reed, 2000)

แบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องจักรก่อสร้างที่ประกอบด้วยรถขุดดิน รถบรรทุกขนดิน และปั้นจั่น ซึ่งนอกจากมีความสามารถในการเข้าไปดูในมุมมองต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้ต้องการยังมีจุดเด่นที่สำคัญคือผู้ใช้สามารถที่ควบคุมเครื่องจักรในแบบจำลองให้เคลื่อนที่หรือดำเนินงานตามที่ผู้ใช้ต้องการได้ โดยควบคุมผ่านปุ่มควบคุมที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอ ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 แสดงแบบจำลองเสมือนจริงของเครื่องจักรก่อสร้างที่ควบคุมการเคลื่อนที่ได้

(Lipman and Reed, 2000)

2.6 บทสรุป

จากการสำรวจเชิงเอกสารที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่างานวิจัยด้านการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ อันได้แก่ (1) งานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงโดยศึกษาข้อมูลจากแบบจำลองซึ่งไม่ได้มีการประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง เช่น Grant and Lai (1998) Lipman and Reed (2000) เป็นต้น ผลลัพธ์ของงานวิจัยในลักษณะนี้เป็นการแสดงประโยชน์ที่น่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้แบบจำลองเสมือนจริง แต่ในความเป็นจริงอาจมีปัจจัยซึ่งแตกต่างจากปัจจัยที่พิจารณาในแบบจำลอง ทำให้ประโยชน์ที่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้นอาจไม่เป็นจริงเมื่อมีการนำผลงานวิจัยในลักษณะนี้มาใช้งานจริง

(2) งานวิจัยที่มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงซึ่งมุ่งเน้นการแสดงประโยชน์ของแบบจำลองเสมือนจริง (งานวิจัยของ Ogata et al. (2000) Whyte et al. (2000) และ Ogata et al. (1999)) ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Ogata et al. (1999) ได้สรุปผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้จริงในการนำเสนอผลงานให้แก่ลูกค้าจำนวน 19 โครงการ ผลจากการนำไปใช้พบว่าแบบจำลองเสมือนจริงได้รับการประเมินขั้นสูง จำนวน 9 โครงการ ปัจจัยด้านความมีคุณค่าในการนำไปใช้และผู้ใช้ต้องการให้มีการใช้อีกจำนวน 6 โครงการและปัจจัยด้านความง่ายในการทำความเข้าใจและความน่าสนใจ จำนวน 8 โครงการ เป็นต้น ซึ่งผลสรุปดังกล่าวมีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับให้ผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในกรณีอื่นๆ เนื่องจากภายในงานวิจัยไม่ได้แสดงรายละเอียดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริง รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริงอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานในโครงการที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดในการทำงานมาก

จากข้อจำกัดของงานวิจัยข้างต้น ทำให้งานวิจัยนี้มีความสนใจทำการศึกษาการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงในช่วงออกแบบก่อนการก่อสร้าง เพื่อศึกษาความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารในช่วงการออกแบบ โดยมุ่งเน้นทำการศึกษาในหลายประเด็น เช่น การศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มแรกจนถึงขั้นตอนการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริง การศึกษาประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริง และแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริง เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลจากการประยุกต์ใช้งานจริงจากกรณีศึกษา โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและการศึกษาโครงการตัวอย่าง

แม้ว่าวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เป็นการมุ่งเน้นด้านการศึกษาผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ แต่เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในโครงการอื่นๆ ได้ งานวิจัยนี้ได้แสดงขั้นตอนอย่างละเอียดตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ภายในกรณีศึกษา

ในบทนี้เป็นการแสดงเนื้อหาก่อนการศึกษาผลการวิจัย โดยประกอบด้วยเนื้อหาอันได้แก่ (1) ภาพรวมของวิธีดำเนินงานวิจัย (2) ทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงและการเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับใช้ภายในกรณีศึกษา (3) รายละเอียดโครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (4) ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้ภายในกรณีศึกษา (5) การสร้างแบบจำลองเสมือนจริง (6) การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงระหว่างการติดต่อประสานงาน และ (7) การแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง

3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้งานจริง แต่เนื่องจากแบบจำลองเสมือนจริงยังไม่ค่อยมีการประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานในประเทศไทย อันส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านการหาข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อให้สามารถหาข้อมูลอย่างเพียงพอสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการวิจัย ดังรูปที่ 3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย เรื่องที่ทำการวิเคราะห์ สิ่งที่ได้และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รวมทั้งบทสรุปวิธีการวิจัยและการสังเคราะห์วิธีการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและแหล่งข้อมูล

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีดำเนินงานวิจัย เรื่องที่ทำการวิเคราะห์ สิ่งที่ได้และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

วิธีดำเนินงานวิจัย	เรื่องที่ทำการวิเคราะห์	สิ่งที่ได้	ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
ศึกษาการใช้ VM ในการดำเนินงานจริงภายในกรณีศึกษา	-ประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของการใช้ VM -วิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องมือสำหรับดำเนินงานที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก	-ทราบถึงประโยชน์ ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขข้อจำกัดของ VM -ทราบแนวทางการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือ	-ความชัดเจนในการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน -ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลอย่างเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน -ผลกระทบต่อการดำเนินงานเมื่อมีการใช้ VM -ระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่าย -ลักษณะงานที่ควรนำ VM มาประยุกต์ใช้
การทดลองปฏิบัติ	-ทางเลือกในการสร้าง VM -การพิจารณาเลือกใช้ ซอฟต์แวร์สำหรับสร้าง VM ภายในกรณีศึกษา -เทคนิคและขั้นตอนการสร้าง VM	-แนวทางการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับสร้าง VM -ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคและขั้นตอนการสร้าง VM	-เครื่องมือช่วย ราคาซอฟต์แวร์ ความสามารถในการแสดงผล -ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ -ความซับซ้อนของข้อมูลและการส่งผ่านข้อมูลระหว่างการสร้าง VM -โครงสร้าง VM และการกำหนดค่าในคำสั่งสำเร็จรูป (VM)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงบทสรุปวิธีการวิจัยและการสังเคราะห์วิธีการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัย	ตัวอย่าง	เป้าหมาย	ข้อดี	ข้อเสีย (หรือข้อจำกัด)
การทดลองปฏิบัติ	ซอฟต์แวร์ Cult3D	ข้อมูลด้านเทคนิคของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง	ช่วยให้ทราบข้อมูลด้านเทคนิคแบบลงรายละเอียดของซอฟต์แวร์ Cult3D และสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับการดำเนินงานอื่นๆ ได้	ไม่สามารถทราบข้อมูลด้านเทคนิคอย่างละเอียดของซอฟต์แวร์ตัวอื่นๆ เนื่องจากซอฟต์แวร์แต่ละตัวอาจมีข้อมูลด้านเทคนิคและปัญหาในรายละเอียดแตกต่างกัน
ศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการดำเนินงานจริงภายในกรณีศึกษา	1 กรณีศึกษา	กรณีศึกษา	สามารถศึกษาข้อมูลแบบลงรายละเอียดจากการทำงานจริงได้ (ช่วยให้เห็นผลกระทบที่แปลกใหม่และอาจไม่เห็นได้โดยง่ายหากใช้การดำเนินงานวิจัยแบบอื่น)	เป็นเรื่องยากที่จะทำให้ผลงานวิจัยสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีทั่วไปได้ (ผลงานวิจัยเหมาะสำหรับใช้ในการทำงานอื่นๆ ซึ่งมีปัจจัยแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

เพื่อศึกษาทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสำรวจด้วยการค้นหา (Searching) ภายในอินเตอร์เน็ตและการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิคส์ (Email) ไปสอบถามผู้มีประสบการณ์จากการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงได้เป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแรกเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้การเขียนชุดคำสั่ง (Source Code) แบบตัวอักษร และรูปแบบที่สองเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยการใช้ซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยเพื่อให้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้การเขียนชุดคำสั่ง (Source Code) แบบตัวอักษร

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะนี้เป็นการเขียนชุดคำสั่งด้วยตัวอักษร ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงด้วยวิธีนี้คือ

-ภาษา VRML (Virtual Reality Modeling Language)

ภาษา VRML เป็นภาษาที่ถูกพัฒนามาจากภาษา C++ สำหรับใช้ในการสร้างภาพกราฟิก 3 มิติและสภาพแวดล้อมที่สามารถควบคุมการแสดงผลให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้ผ่านอินเตอร์เน็ตแบบ Real Time ได้

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้ภาษา VRML เป็นการเขียนชุดคำสั่งด้วยตัวอักษรตามไวยกรณ์ของภาษา VRML เพื่อสร้างวัตถุรูปทรง 3 มิติ การสร้างพื้นผิว การกำหนดมุมกล้อง การปรับความสว่างของแสงและเงา เป็นต้น ภายในโปรแกรม เช่น Notepad และสามารถแสดงผลผ่าน Plug in (เช่น Cosmo player จาก http://www.sgi.com) ภายในโปรแกรม Internet Explorer หรือ Netscape Navigator

-ซอฟต์แวร์ World Tool Kit (WTK) (http://www.sense8.com)

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงด้วยซอฟต์แวร์ World Tool Kit เป็นการเขียนกลุ่มของภาษาซีบนซอฟต์แวร์ World Tool Kit เพื่อให้อ่านไฟล์ข้อมูลแบบ 3 มิติ (ซึ่งมีนามสกุล DXF 3DS และ VRML) และนำไปเขียนเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล NFF

การแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงเป็นการอ่านไฟล์ที่มีนามสกุล NFF เพื่อแสดงภาพเสมือนจริงในลักษณะ 3 มิติซึ่งสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้แบบ Real Time ผ่านอินเตอร์เน็ตได้

-ซอฟต์แวร์ Meme (http://www.immersive.com)

ซอฟต์แวร์ Meme เป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยการเขียนชุดคำสั่งด้วยตัวอักษรตามไวยกรณ์ของซอฟต์แวร์ Meme ตั้งแต่การสร้างวัตถุ 3 มิติจนถึงการควบคุมการแสดงผล เช่น การกำหนดการแสดงภาพ การกำหนดแสงไฟ การกำหนดการเคลื่อนที่ การควบคุมผ่านเมาส์ Joystick หรือคีย์บอร์ด เป็นต้น โดยทำการประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ Meme บนระบบ Dos (ไม่สามารถประมวลผลภายในระบบปฏิบัติการ Windows ได้) นอกจากนี้สามารถเขียนชุดคำสั่งเพื่อให้สามารถแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงร่วมกับการใช้ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม เช่น gloves และ head-mounted displays เป็นต้น

3.2.2 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยการใช้ซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วย

เนื่องจากการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยการเขียนชุดคำสั่ง (Source Code) แบบตัวอักษร (หัวข้อที่ 3.2.1) สามารถทำได้ยากและอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ทำให้มีบริษัทที่พยายามพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงให้มีเครื่องมือช่วยเพื่อให้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงเป็นงานที่ง่ายขึ้น

โดยซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่มีเครื่องมือช่วยนี้จะประกอบด้วยชุดคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการสร้างการควบคุมการแสดงผล เช่น การเดินชม การบินชม การย่อหรือขยายภาพ การกำหนดให้มีการแสดงภาพหรือไม่แสดงภาพ เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีเครื่องมือช่วยสำหรับเชื่อมโยงข้อมูลกับซอฟต์แวร์อื่นๆ

จากการศึกษาพบว่าซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยสำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงมีอยู่หลายตัว มีทั้งซอฟต์แวร์ที่มุ่งเน้นทางด้านการพาณิชย์ (Commercial) และซอฟต์แวร์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ตัวอย่างซอฟต์แวร์ประเภทนี้ ได้แก่

-ซอฟต์แวร์ Superscape (http://www.superscape.com)

ซอฟต์แวร์ Superscape เป็นหนึ่งในชุดของโปรแกรมในระยะเริ่มแรกที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงและสามารถแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (ในระยะเริ่มแรกแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในระบบปฏิบัติการ Dos บนเครื่องคอมพิวเตอร์ 386 processor) โปรแกรม Superscape ในปัจจุบันมีเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่การ Import ข้อมูลแบบสามมิติซึ่งมีขนาดใหญ่จากซอฟต์แวร์ 3D Studio Max ไปเป็นแบบจำลองเสมือนจริงบนโปรแกรม Superscape

การสร้างการควบคุมการแสดงผลภายในซอฟต์แวร์ Superscape สามารถทำได้โดยชุดคำสั่งสำเร็จรูป (the 3Dcontrol2000 ActiveX control) หรือการเขียนชุดคำสั่งแบบตัวอักษรเป็นภาษา Java ภาษา C++ ภาษา C และภาษา Visual Basic

-ซอฟต์แวร์ Cult3D (http://www.cycore.com)

ซอฟต์แวร์ Cult3D เป็นซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยที่สำคัญ คือ ชุดคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการสร้างการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงด้วยซอฟต์แวร์ Cult3D สามารถทำได้โดยการนำแบบ 3 มิติจากซอฟต์แวร์สำหรับงานแบบ 3 มิติ (ซอฟต์แวร์3D Studio Max ซอฟต์แวร์ Maya และซอฟต์แวร์ Strata) มาเปิดใช้ซอฟต์แวร์ Cult3D และนำคำชุดสั่งสำเร็จรูปมากำหนดค่าการควบคุมการแสดงผล นอกจากนี้การสร้างการควบคุมการแสดงผลภายในซอฟต์แวร์ Cult3D สามารถเขียนชุดคำสั่งแบบตัวอักษรด้วยภาษา Java Script เพื่อควบคุมการแสดงผลได้

3.2.3 การพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงที่แสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน อันได้แก่ หน้าจอคอมพิวเตอร์ ซีพียู คีย์บอร์ดและเมาส์

จากการปรึกษาวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างผู้มีประสบการณ์ในการทำงานจริงและประสบการณ์ด้านการพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งได้รับคำแนะนำว่าการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงควรเลือกใช้ซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วย เพื่อให้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงเป็นงานที่ง่ายขึ้นและเป็นการช่วยกระตุ้นให้มีการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในโครงการอื่นๆ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์ประเภทที่มีเครื่องมือช่วยสำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายตัว แต่งานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Cult3D (http://www.cycore.com) เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง และปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย (กรณีนำมาใช้เพื่อการศึกษา) ตารางที่ 3.3 แสดงปัจจัยต่างๆ ที่นำมาพิจารณาเลือกแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.3 แสดงปัจจัยที่มีการพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริง

ปัจจัยที่พิจารณา	ผลจากการพิจารณาซอฟต์แวร์ Cult3D
ราคาของซอฟต์แวร์	ไม่เสียค่าใช้จ่าย (กรณีนำซอฟต์แวร์มาใช้เพื่อการศึกษา)
ข้อกำหนดด้านฮาร์ดแวร์ของซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้	ความสามารถในการประมวลผลของฮาร์ดแวร์ไม่สูง
ความยุ่งยากในการสร้างและแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริง	สามารถทำได้ เนื่องจากมีคำสั่งสำเร็จรูปเพื่อช่วยให้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสะดวกและรวดเร็ว
ข้อจำกัดด้านขนาดไฟล์ข้อมูลของแบบจำลองเสมือนจริง	ไม่มีการจำกัดขนาดไฟล์ข้อมูล
ความสามารถในการควบคุมการแสดงผล	สามารถจำลองการเดินชม การบินชม การกำหนดการย่อหรือขยายภาพ การกำหนดการแสดงภาพหรือไม่แสดงภาพข้อมูลแบบ 3 มิติในลักษณะเสมือนจริงได้ และสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้แบบ Real Time ผ่านอินเตอร์เน็ตได้
ความสามารถในการแสดงข้อมูลสำหรับงานก่อสร้าง	สามารถแสดงแบบ 3 มิติของงานก่อสร้างได้

เนื่องจากซอฟต์แวร์ Cult3D เป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการสร้างการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง แต่ไม่มีความสามารถในการสร้างแบบ 3 มิติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบ 3 มิติเพื่อใช้ในการนำไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงภายในซอฟต์แวร์ Cult3D โดยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ AutoCAD สำหรับสร้างแบบ 3 มิติ เนื่องจากซอฟต์แวร์ AutoCAD สนับสนุนการสร้างแบบ 3 มิติและเป็นซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายในประเทศไทย (ภาณุพงษ์, 2542) แต่ไฟล์ข้อมูลแบบ 3 ที่สร้างโดยซอฟต์แวร์ AutoCAD ไม่สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงภายในซอฟต์แวร์ Cult3D ได้โดยตรง (ซอฟต์แวร์ Cult3D กำหนดให้สามารถนำไฟล์ข้อมูลแบบ 3 มิติเข้ามาสร้างแบบจำลองเสมือนจริงได้โดยการแปลงไฟล์ข้อมูลผ่านซอฟต์แวร์ 3D Studio Max ซอฟต์แวร์ Maya และซอฟต์แวร์

Strata) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การแปลงไฟล์ข้อมูลแบบ 3 มิติจากซอฟต์แวร์ AutoCAD ผ่านซอฟต์แวร์ 3D Studio Max เพื่อให้สามารถนำไปสร้างแบบจำลองเสมือนจริงภายในซอฟต์แวร์ Cult3D ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.5

3.3 รายละเอียดโครงการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการศึกษาความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการนำมาเป็นเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารในช่วงการออกแบบของการปฏิบัติงานจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาจากการประยุกต์ใช้งานจริง ในการออกแบบงานก่อสร้าง

การพิจารณาเลือกกรณีศึกษาจำเป็นต้องเลือกโครงการก่อสร้างจริงที่มีความเหมาะสม เพื่อให้ข้อมูลที่ได้รับสามารถนำไปวิเคราะห์และนำไปสรุปผลงานวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยไม่พิจารณาเลือกศึกษาข้อมูลจากโครงการที่มีลักษณะการดำเนินงานไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถใช้วิธีแบบปกติ (ใช้เฉพาะแบบพิมพ์เขียว) ในการติดต่อสื่อสารได้

งานวิจัยนี้จำเป็นต้องพิจารณาเลือกกรณีศึกษาที่มีลักษณะการดำเนินงานซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมาก นอกจากนี้ ไม่สามารถใช้ความรู้จากประสบการณ์ในการติดต่อประสานงานของฝ่ายต่างๆ มาพิจารณาแบบ 2 มิติ (แบบพิมพ์เขียวซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันเป็นที่แพร่หลาย) และดำเนินงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 วัตถุประสงค์โครงการ

เพื่อรองรับการขยายตัวของความต้องการใช้งานพื้นที่ภายในอาคารซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ขนาดที่ดินมีขนาดเท่าเดิม

3.3.2 ลักษณะโครงการ

ลักษณะโครงการสามารถแบ่งเป็น ลักษณะอาคารปฏิบัติการที่มีอยู่เดิมและลักษณะอาคารที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่เพื่อครอบอาคารเดิม ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก.ภาพถ่ายด้านหน้าอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม

ข.ภาพถ่ายด้านข้างอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (มีงติดถนน)

ค.ภาพถ่ายด้านหลังอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม

ง.ภาพถ่ายด้านข้างอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (มีงติดอาคารไฟฟ้า)

จ.ภาพถ่ายภายในอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม

ฉ.ภาพถ่ายภายในอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม 2

รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม

(1) ลักษณะอาคารปฏิบัติการที่มีอยู่เดิม

ที่ตั้ง – คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

ขนาดพื้นที่ – มีขนาดพื้นที่ในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 รวมกันเท่ากับ 2,350 ตารางเมตร มีจำนวนชั้นทั้งหมด 2 ชั้น

การใช้งาน –อาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (เดิม) มีการใช้งานอันได้แก่ พื้นที่สำหรับการเรียนการสอนและการทดสอบวัตถุต่างๆ พื้นที่สำหรับห้องพักอาจารย์ นิสิต เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

ลักษณะอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างภาพถ่ายของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (เดิม)ในมุมมองต่างๆ

(2) ลักษณะอาคารที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่

อาคารที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่เพื่อครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิม มีจำนวนชั้นทั้งหมด 5 ชั้น มีขนาดพื้นที่ในชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 รวมกันเท่ากับ 5,953.5 ตารางเมตร

นอกจากนี้การพิจารณาออกแบบและก่อสร้างอาคารที่ต้องการสร้างขึ้นใหม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดหลายประการ ดังแสดงในหัวข้อ 3.3.3

3.3.3 ข้อจำกัดในการดำเนินงาน

การดำเนินงานในกรณีศึกษานี้จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการดำเนินงาน อันได้แก่

(1) เงื่อนไขด้านตำแหน่งเครื่องทดสอบที่มีขนาดใหญ่ มีราคาสูง เคลื่อนย้ายได้ลำบาก หรือเครื่องทดสอบที่มีอายุการใช้งานนาน

เงื่อนไขข้อนี้มุ่งเน้นให้โครงสร้างที่ทำการออกแบบใหม่ซึ่งถูกบังคับในเรื่องการออกแบบโครงสร้างหลักในการรับน้ำหนักของอาคารรวมถึงวิธีการก่อสร้าง โดยให้มีผลกระทบต่อเครื่องทดสอบดังกล่าวน้อยที่สุด และต้องกำหนดขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงาน

(2) เงื่อนไขด้านการใช้งานอาคารปฏิบัติการ (เดิม)

เงื่อนไขข้อนี้มุ่งเน้นให้ส่วนของโครงสร้างที่ออกแบบใหม่มีผลกระทบต่อการใช้งานอาคารที่มีอยู่เดิมน้อยที่สุด การใช้งานในที่นี้ครอบคลุมถึง กิจกรรมการใช้เครื่องทดสอบและการใช้เส้นทางการจราจรอันได้แก่ การขนย้ายวัสดุ อุปกรณ์เข้ามาในอาคารปฏิบัติการ การเรียนการสอน โดยใช้ห้องปฏิบัติการตามปกติในระหว่างที่มีการก่อสร้าง

(3) เงื่อนไขด้านขนาดและตำแหน่งของโครงสร้างเดิม

เนื่องจากเป็นโครงการที่ต้องการสร้างตึกครอบอาคารที่มีอยู่เดิม ดังนั้นผู้ออกแบบมีความจำเป็นต้องการพิจารณาเรื่องการซ้อนทับตำแหน่งของโครงสร้างที่มีอยู่เดิม เช่น เสาเข็ม ตอม่อ คานคอดิน เสา คานของอาคารที่มีอยู่เดิม เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของโครงสร้างอาคารส่วนที่ได้ทำการออกแบบใหม่ เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบของสถาปนิกและวิศวกร

(4) เงื่อนไขด้านกายภาพของบริเวณโดยรอบอาคาร

เงื่อนไขข้อนี้เป็นเงื่อนไขที่มีความสำคัญสำหรับการดำเนินงานในโครงการนี้ เนื่องจากมีปัจจัยที่มีความจำเป็นต้องนำมาพิจารณาคือ ในการออกแบบโครงสร้างใหม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดและตำแหน่งของโครงสร้างใหม่ที่ได้ทำการออกแบบ ผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง รวมทั้งพื้นที่ของถนน

(5) เงื่อนไขด้านความสวยงามของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ และความสอดคล้องกับอาคารโดยรอบ

เงื่อนไขที่มีความจำเป็นต้องนำมาพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางสถาปัตยกรรม เนื่องจากส่งผลต่อความสวยงามของอาคารที่ออกแบบใหม่ ความสอดคล้องกลมกลืนกับอาคารข้างเคียง

(6) เงื่อนไขด้านความสามารถก่อสร้างได้ในสถานที่ซึ่งมีพื้นที่จำกัดและมีราคาไม่สูง

เงื่อนไขข้อนี้มุ่งเน้นให้การออกแบบอาคารใหม่มีการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและทางวิศวกรรมร่วมกับการพิจารณาวิธีและขั้นตอนในการก่อสร้างที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูง

เนื่องจากเงื่อนไขและข้อจำกัดข้างต้น ทำให้ลักษณะการดำเนินงานในโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมจำเป็นต้องมีการสื่อสาร การแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือการติดต่อประสานงานที่ดีและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานได้รับข้อมูลที่จำเป็นและเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการดำเนินงานของแต่ละฝ่าย ผู้ออกแบบต้องการออกแบบรูปแบบสถาปัตยกรรมที่วิศวกรสามารถออกแบบงานวิศวกรรมได้และแบบที่พัฒนานี้จำเป็นต้องให้ผู้รับเหมาสามารถทำการก่อสร้างได้ ขณะเดียวกันต้องสอดคล้องกับความต้องการของเจ้าของงานในเรื่องการใช้พื้นที่ ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการก่อสร้างรวมทั้งรูปแบบความสวยงามตามความต้องการของเจ้าของ ในกรณีที่การก่อสร้างมีความยุ่งยากการใช้เครื่องมือที่ใช้กันโดยทั่วไปเช่น ภาพถ่าย รูปแปลนหรือรูปด้านแบบ 2 มิติ เป็นต้น อาจให้ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการหาทางเลือกในการออกแบบร่วมกันระหว่าง สถาปนิก วิศวกรโครงสร้างและวิศวกรฐานราก รวมทั้งงานระบบ

ต่างๆ เพราะต้องการหาทางเลือกในการออกแบบที่สอดคล้องกับเทคนิคการก่อสร้าง และมีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างมากที่สุด นอกจากนี้ข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารปกติอาจไม่สามารถนำไปใช้ในการสื่อสารให้เห็นภาพจำลองในรูปแบบที่เหมือนจริงของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ ซึ่งการใช้การจำลองรูปแบบทางกายภาพเข้ามาช่วยเหลืออาจไม่เหมาะสมเพราะการทำการจำลองทางกายภาพใช้เวลานานและขาดความยืดหยุ่นในการทดลองทางเลือกต่างๆ รวมทั้งผู้ใช้ไม่สามารถจำลองการเข้าไปเดินชมในมุมมองที่ต้องการได้

3.4 ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้ภายในกรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ไม่มุ่งเน้นการใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสูง เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงในกรณีอื่นๆ ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์ที่มีความสอดคล้องกันและพิจารณาจากความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานก่อสร้างจริง ซึ่งมีรายละเอียดในการพิจารณาดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดในการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ในงานวิจัยนี้

รายละเอียดในการพิจารณา	ผลการพิจารณา
1.ราคาซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์	ไม่สูง
2.ความสามารถของตัวซอฟต์แวร์ เช่น	
-การติดตั้ง	ทำได้ง่าย
-เครื่องมือช่วยสำหรับดำเนินงานที่เหมาะสม	มี
-การแสดงผล	ในลักษณะภาพเหมือนจริงแบบ 3 มิติ
3.ความยากง่ายในการเรียนรู้การใช้งาน	ไม่ยุ่งยาก
4.ความยากง่ายในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง	ไม่ยุ่งยาก
5.ความยากง่ายในการควบคุมการแสดงผลขณะใช้งาน	ไม่ยุ่งยาก
6.ความยากง่ายในการปรับปรุงแบบจำลองเสมือนจริง	ไม่ยุ่งยาก

งานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Cult3D (www.cult3d.com) ซอฟต์แวร์ AutoCAD2000 (www.autodesk.com) และซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX (www.discreet.com) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลธรรมดาซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลไม่สูงนัก ซึ่งประกอบด้วย CPU AMD Duron 650 Mz. RAM 192 MB การ์ดแสดงผลหน้าจอของ Nvidia Vanta 16 MB ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window 98 second edition และ Browser ของ Internet Explorer v5.5

3.5 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในงานวิจัย (ในกรณีศึกษา)

เทคนิคในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเทคนิคที่เกิดจากการลองผิดลองถูกและเป็นเทคนิคเฉพาะของนักวิจัยแต่ละท่านซึ่งไม่มีการเผยแพร่ภายในงานวิจัย (Bourdakis, 1996) จากลักษณะดังกล่าวทำให้เป็นเรื่องยากสำหรับผู้ที่สนใจในการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้งานจริง เนื่องจากการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น สร้างด้วยการเขียนชุดคำสั่งแบบตัวอักษร หรือสร้างด้วยซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยต่างๆ เป็นต้น ซึ่งการสร้างในแต่ละวิธีมีความยุ่งยากแตกต่างกัน และมีความสามารถในการนำมาประมวลผลขณะใช้งานแตกต่างกัน

เพื่อสนับสนุนให้มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้เสนอแนะเทคนิคในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก โดยแสดงในตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงภายในกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก่อนการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงจำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์อันได้แก่ (1) ซอฟต์แวร์ AutoCAD version 2000 (2) ซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX version 4.2 และ (3) ซอฟต์แวร์ Cult3D โดยงานวิจัยนี้ไม่แสดงขั้นตอนการติดตั้งซอฟต์แวร์ AutoCAD version 2000 และซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX version 4.2 เนื่องจากสามารถศึกษาได้จากหนังสือที่มีขายอยู่ทั่วไป แต่งานวิจัยนี้ได้แสดงขั้นตอนการติดตั้งซอฟต์แวร์ Cult3D ดังแสดงในภาคผนวก ก

ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงภายในงานวิจัยนี้ประกอบ 3 ส่วน อันได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการสร้างแบบ 3 มิติโดยใช้ซอฟต์แวร์ AutoCAD ส่วนที่ 2 เป็นขั้นตอนการใช้ซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX แปลงไฟล์ข้อมูล เพื่อให้สามารถนำไปสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในซอฟต์แวร์ Cult3D ได้ และในส่วนที่ 3 เป็นการแสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังมีรายละเอียดดังนี้

I 20472936

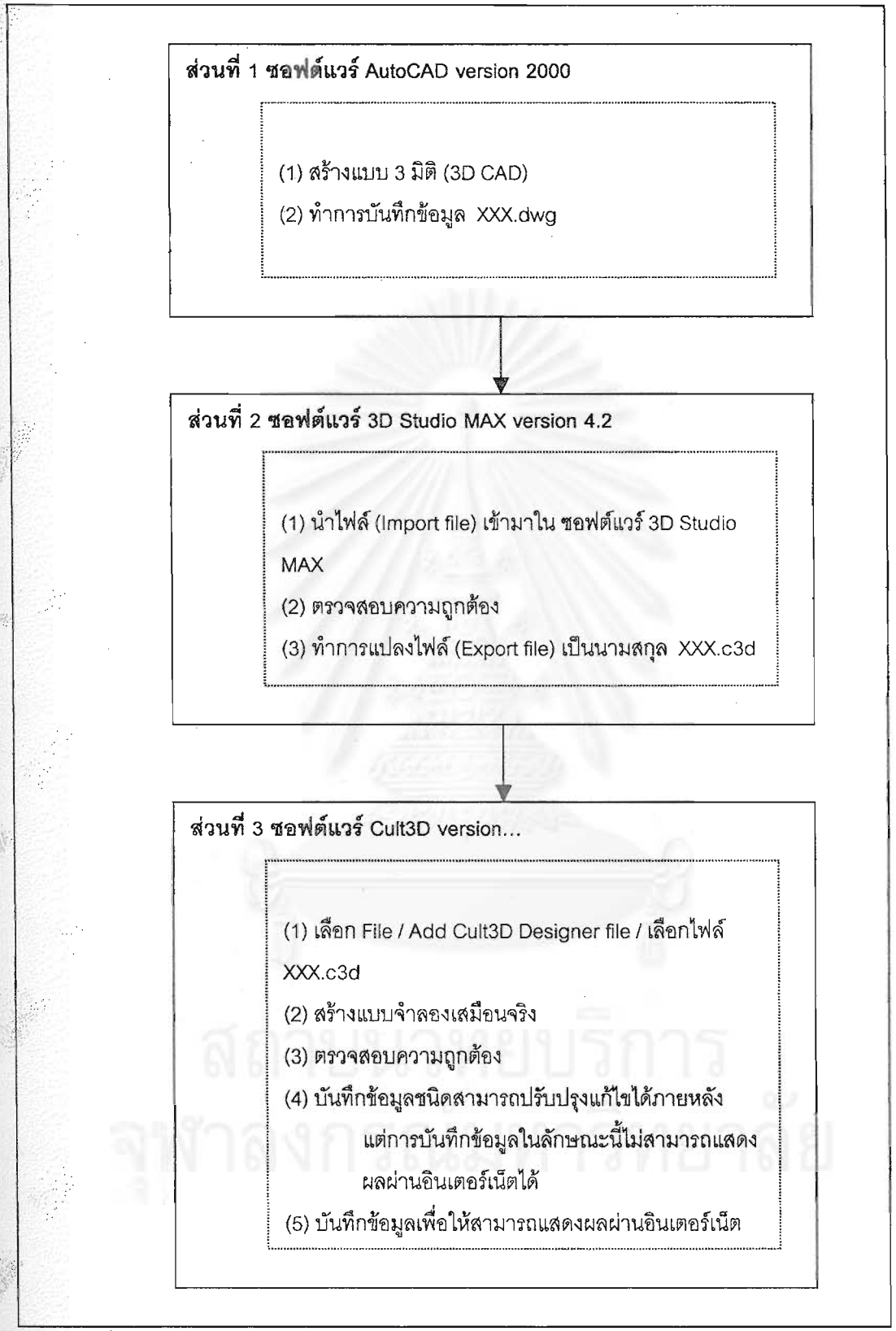
3.5.1 ส่วนที่ 1 การสร้างแบบ 3 มิติภายในซอฟต์แวร์ AutoCAD

ส่วนนี้เป็นการนำข้อมูลจากการสำรวจหรือจากการออกแบบมาสร้างแบบ 3 มิติภายในซอฟต์แวร์ AutoCAD โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ในส่วนที่ 1) แต่งานวิจัยนี้ไม่ได้แสดงวิธีการและขั้นตอนของการสร้างแบบ 3 มิติ เนื่องจากวิธีการและขั้นตอนในการสร้างแบบ 3 มิติเป็นการดำเนินงานที่ไม่ยุ่งยากนักและสามารถศึกษาเรียนรู้จากหนังสือที่มีขายอยู่โดยทั่วไป รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างแบบ 3 มิติของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิม ซึ่งสร้างภายในซอฟต์แวร์ AutoCAD

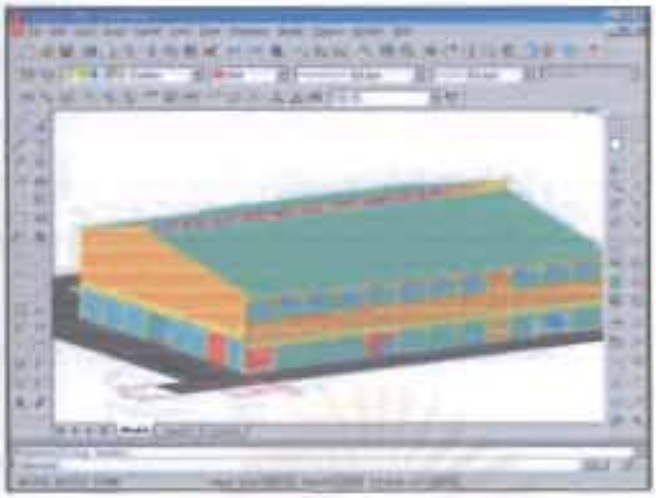
3.5.2 ส่วนที่ 2 การใช้ซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX แปลงไฟล์ข้อมูล

การดำเนินงานในส่วนที่ 2 นี้เป็นการดำเนินงานตามข้อกำหนดในซอฟต์แวร์ Cult3D ซึ่งกำหนดให้มีการแปลงข้อมูลแบบ 3 มิติให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง (มีนามสกุล .c3d) โดยมีทางเลือกในการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อแปลงไฟล์ข้อมูลอยู่ 3 ทางเลือก คือ การใช้ซอฟต์แวร์ Maya ซอฟต์แวร์ Strataและซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX

งานวิจัยนี้เลือกในซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX เพื่อแปลงไฟล์ข้อมูลแบบ 3 มิติให้มีนามสกุล .c3d โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ในส่วนที่ 2) ซึ่งเริ่มจากการนำไฟล์ (Import File) ข้อมูลแบบ 3 มิติที่มีนามสกุล .dwg มาเปิดในซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX และทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบ 3 มิติ ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงแบบ 3 มิติ เช่น การปรับแต่งสภาพแวดล้อม การปรับแต่งแสงไฟหรือการปรับแต่งการเคลื่อนไหว (Animation) เป็นต้น สามารถทำได้ในขั้นตอนนี้ (ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ปรับปรุงแบบ 3 มิติในซอฟต์แวร์ 3D Studio MAX) เมื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อไปคือการแปลงไฟล์ข้อมูล (Export File) ให้มีนามสกุลเป็น .c3d



รูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการสร้างแบบ 3 มิติของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิม ภายในซอฟต์แวร์ AutoCAD

3.5.3 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงบนซอฟต์แวร์ Cult3D

รูปที่ 3.3 (ในส่วนที่ 3) เป็นการแสดงขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ดังมีรายละเอียดดังนี้

(1) เลือก File / Add Cult3D Designer file / **เลือกไฟล์** XXX.c3d

ขั้นตอนนี้เป็นการนำแบบ 3 มิติที่ได้ผ่านการแปลงไฟล์ข้อมูลให้มีนามสกุลเป็น .c3d มาเปิดในซอฟต์แวร์ Cult3D

(2) สร้างแบบจำลองเสมือนจริง

การสร้างการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงในซอฟต์แวร์ Cult3D สามารถทำได้หลายรูปแบบ แต่ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการควบคุมการแสดงผลที่สามารถทำได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องควบคุมหรือฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมที่มีราคาสูง เช่น ถุงมือแบบพิเศษ แว่นตาสำหรับมองภาพ 3 มิติ เป็นต้น แต่เป็นการใช้ฮาร์ดแวร์ที่มากับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อันได้แก่ คีย์บอร์ดและเมาส์เป็นตัวควบคุมการแสดงผล เพื่อให้ผลงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานอื่นได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ

งานวิจัยได้แสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับใช้กรณีศึกษาโครงการสร้างอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม โดยแบ่งออกเป็น 6 ประเภท อันได้แก่ (1) การควบ

คุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวม (2) การควบคุมการแสดงผลแบบเดินชม (3) การควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง (4) การควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันซ้ายหรือหันขวา (5) การควบคุมการแสดงผลในลักษณะการก้มมองและเงยมอง และ (6) การควบคุมการแสดงผลให้มีการแสดงภาพและไม่แสดงภาพ ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค

(3) ตรวจสอบความถูกต้อง

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการสร้างการควบคุมการแสดงผล จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการแสดงผล เช่น การเดินชม การบินชมในมุมมองต่างๆ การแสดงภาพและไม่แสดงภาพ เป็นต้น รูปที่ 3.5 เป็นการแสดงการตรวจสอบการแสดงผลใน Cult3D Designer โดยการกดปุ่ม Play และทำการทดลองควบคุมการแสดงผลด้วยเมาส์และปุ่มควบคุมที่ได้สร้างไว้ หากสามารถควบคุมการแสดงผลได้ตามต้องการ ขั้นตอนต่อไปคือการบันทึกข้อมูลซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ การบันทึกข้อมูลชนิดที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ภายหลัง และการบันทึกข้อมูลชนิดที่ไม่สามารถแก้ไขได้

(4) บันทึกข้อมูลชนิดสามารถปรับปรุงแก้ไขได้ภายหลัง

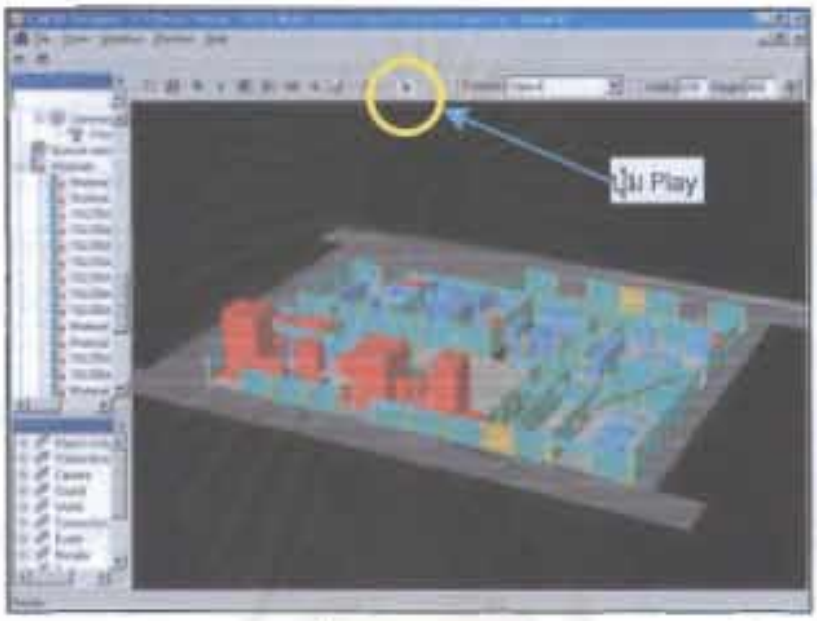
การบันทึกข้อมูลชนิดนี้เป็นการบันทึกข้อมูลให้มีนามสกุลเป็น .c3p โดยการเลือก File / Save project as / ใส่ชื่อ / ทำการบันทึก การบันทึกข้อมูลในลักษณะนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ในกรณีที่การสร้างการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงไม่แล้วเสร็จ ผู้ใช้สามารถทำการบันทึกและสามารถมาสร้างเพิ่มเติมได้ นอกจากนี้สามารถนำแบบจำลองเสมือนจริงที่สร้างเสร็จแล้วมาทำการปรับปรุงการแสดงผล รวมทั้งปรับปรุงแบบ 3 มิติได้ เป็นต้น การเปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้บันทึกไว้สามารถทำได้โดยการเลือก File / Load project / เลือกชื่อที่ต้องการ (มีนามสกุล .c3p)

อย่างไรก็ตาม การบันทึกข้อมูลในลักษณะนี้ไม่สามารถนำไฟล์ซึ่งมีนามสกุล .c3p มาแสดงผลแบบ Real Time ผ่านอินเตอร์เน็ตได้

(5) บันทึกข้อมูลเพื่อให้สามารถแสดงผลผ่านอินเตอร์เน็ต

การบันทึกข้อมูลในลักษณะนี้สามารถทำได้ โดยการเลือก File / Save internet file / ใส่ชื่อที่ต้องการ โดยไฟล์ที่ได้จะมีนามสกุล .co

การบันทึกไฟล์ข้อมูลของแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะนี้มีข้อดี คือ แบบจำลองเสมือนจริงที่บันทึกโดยวิธีนี้สามารถแสดงผลแบบ Real Time ผ่านอินเตอร์เน็ตได้ โดยผู้ใช้สามารถควบคุมการแสดงผล เช่น การเดินชม การบินชมในมุมมองต่างๆ การแสดงภาพและไม่แสดงภาพ โดยใช้ปุ่มควบคุมหรือเมาส์ควบคุมตามที่ได้สร้างไว้ เป็นต้น แต่การบันทึกไฟล์ข้อมูลในลักษณะนี้ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลแบบ 3 มิติและการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงได้



รูปที่ 3.5 แสดงภาพการตรวจสอบความถูกต้องของการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง

3.6 การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงระหว่างการติดต่อประสานงาน

งานวิจัยนี้เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับสื่อสารผลการออกแบบระหว่างการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบก่อนการก่อสร้าง ซึ่งการออกแบบและการติดต่อประสานงานอาจมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้ง ดังนั้นซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในงานวิจัยนี้ควรมีความสามารถในการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริง เพื่อให้สามารถแสดงผลการออกแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละครั้งได้

แต่ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยทั่วไป รวมทั้งซอฟต์แวร์ Cult3D หากมีผ่านการสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงและสามารถแสดงผลผ่านอินเตอร์เน็ตได้ จะไม่สามารถนำแบบจำลองเสมือนจริงดังกล่าวมาปรับปรุงแก้ไขได้ ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบจำเป็นต้องเริ่มสร้างแบบจำลองเสมือนจริงใหม่ (สร้างการควบคุมการแสดงผลใหม่) ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียระยะเวลาเป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่สามารถนำผลการสร้างการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงที่มีอยู่เดิมมาใช้ประโยชน์ได้

จากลักษณะดังกล่าวงานวิจัยจึงพยายามหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนให้เป็นงานที่ง่ายและประหยัดเวลามากขึ้น โดยใช้วิธีลองผิดลองถูกแบบต่างๆ ซึ่งสามารถหาวิธีที่ง่ายและสะดวกโดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) แก้ไขผลการออกแบบในซอฟต์แวร์
และทำการบันทึกข้อมูลแบบ 3 มิติโดยแสดงเฉพาะภาพในส่วนที่ต้องการแก้ไข (บันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .dwg)

(2) ทำตามขั้นตอนในรูปที่ 3.3 ในส่วนที่ 2 เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะได้ไฟล์ข้อมูลของแบบ 3 มิติในส่วนที่ได้ปรับปรุงแก้ไขโดยมีนามสกุลเป็น.c3d

(3) เปิดไฟล์ที่ใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงและบันทึกในลักษณะที่แก้ไขได้ โดยการเลือก File / Load project / เลือกชื่อที่ต้องการ (มีนามสกุล .c3p)

(4) เลือก File / Add Cult3D Designer file / เลือกไฟล์ที่ต้องกับข้อ (2) ซึ่งมีนามสกุลเป็น.c3d

(5) ทำการลบชิ้นส่วนแบบ 3 มิติที่ต้องการแก้ไขและนำชิ้นส่วนที่ปรับปรุงใหม่ในข้อ (4) ไปวางแทนที่

(6) ทำการตรวจสอบการแสดงผล ทำการบันทึกไฟล์ข้อมูลในลักษณะที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้และบันทึกไฟล์ข้อมูลให้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถนำไปแสดงผลบนอินเตอร์เน็ต

เนื่องจากขั้นตอนดังกล่าวสามารถนำแบบ 3 มิติที่ได้ปรับปรุงแก้ไขใหม่มาใช้กับการควบคุมการแสดงผลที่ได้สร้างไว้ ทำให้แนวทางปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะนี้สามารถทำได้ง่ายและใช้เวลาไม่มากเนื่องจากสามารถนำการสร้างการควบคุมการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงที่ได้ทำแล้วในอดีตมาใช้ร่วมกับแบบ 3 มิติที่ได้แก้ไขใหม่ อันส่งผลให้รูปแบบการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะนี้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการดำเนินงานในช่วงออกแบบ ซึ่งมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขผลการออกแบบหลายครั้ง

3.7 การแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง

แบบจำลองเสมือนจริงที่ใช้ในกรณีศึกษานี้มีความสามารถในการแสดงผล เช่น การเดินชม การบินชมในมุมมองที่ผู้ใช้ต้องการ การกำหนดการแสดงภาพและไม่แสดงภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ของอาคาร เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.6 รวมทั้งความสามารถในการควบคุมการแสดงผลและโต้ตอบกับผู้ใช้แบบ Real Time ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ โดยองค์ประกอบต่างๆ

ที่เห็นภายในแบบจำลองเสมือนจริงเป็นการจำลองแบบ 3 มิติซึ่งมีขนาดและสัดส่วนเทียบกับองค์ประกอบจริง นอกจากนี้ได้มีการจำแนกประเภทขององค์ประกอบด้วยสีต่างๆ เช่น

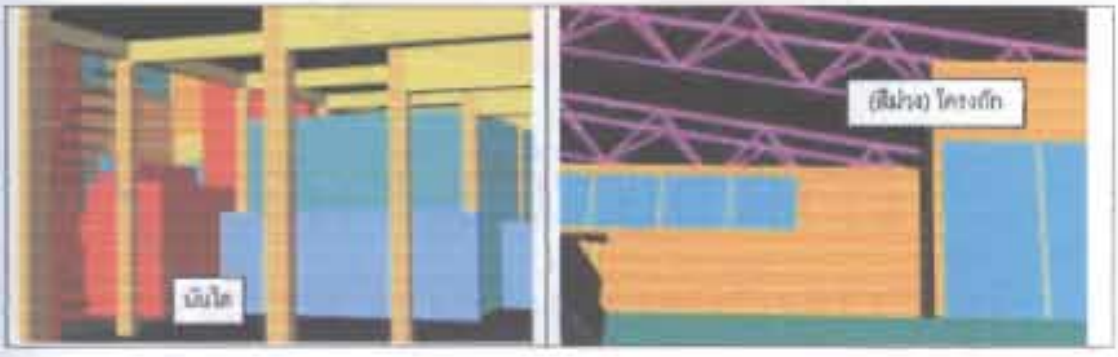
-กล่องสีแดง หมายถึง องค์ประกอบที่มีข้อจำกัดมาก (เครื่องทดสอบที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้)

-กล่องสีฟ้า หมายถึง องค์ประกอบที่สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ (เครื่องทดสอบ อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ โต๊ะและตู้เก็บของที่สามารถเคลื่อนย้ายได้) เป็นต้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบหลายครั้ง ดังนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งใช้สำหรับการประชุมในครั้งต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ข

ก.การแสดงผลแบบบินชมอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม โดยซ่อนภาพหลังคา โครงถัก และพื้นชั้น 2

ข.การแสดงผลแบบบินชมอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม โดยซ่อนภาพหลังคา



ค.การแสดงผลแบบการเดินชม

ง.การแสดงผลแบบการเดินชมและงอมอง

รูปที่ 3.6 แสดงภาพการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงในมุมมองต่างๆ ของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม (ที่มีอยู่เดิม)

3.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้แสดงรายละเอียดตั้งแต่การพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ข้อมูลด้านเทคนิคของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงและการควบคุมแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับใช้ในกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ซึ่งเป็นโครงการที่มีข้อจำกัดในการดำเนินงานหลายประการ ในบทต่อไปเป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงที่ได้จากการสร้างในบทนี้ไปศึกษาและวิเคราะห์ผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างการดำเนินงานจริงในช่วงออกแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงในช่วงออกแบบของกรณีศึกษา:โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องของสถาปนิก และการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อประสานงานระหว่างฝ่ายเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารโครงการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องของสถาปนิก

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณาผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินงานของสถาปนิก โดยสถาปนิกได้รับข้อมูลจากเจ้าของโครงการอันได้แก่

(1) ข้อมูลด้านความต้องการก่อสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมและข้อจำกัดในการดำเนินงานดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 3.2

(2) ข้อมูลด้านความต้องการใช้งานพื้นที่ของอาคารใหม่

(3) ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคาร ลักษณะหน้าตาของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมที่มีอยู่เดิมและเครื่องทดสอบภายในอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม

(4) นอกจากนี้ในกรณีศึกษาได้มีการเชิญสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมาชมอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมจริง

ข้อมูลในข้อ (1) (2) (3) และ (4) เป็นข้อมูลที่เจ้าของโครงการนิยมใช้กันโดยทั่วไปในการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับฝ่ายของสถาปนิกและวิศวกรต่างๆ เนื่องจากการดำเนินงานในกรณีศึกษานี้มีข้อจำกัดในการออกแบบหลายประการ ทำให้การใช้ข้อมูลในข้อ (1) (2) (3) และ (4) อาจจะไม่

เพียงพอแก่การนำไปใช้ในการดำเนินงานของสถาปนิกและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการทดลองนำแบบจำลองเสมือนจริงมาเป็นเครื่องมือช่วยการดำเนินงานดังรูปที่ 4.1

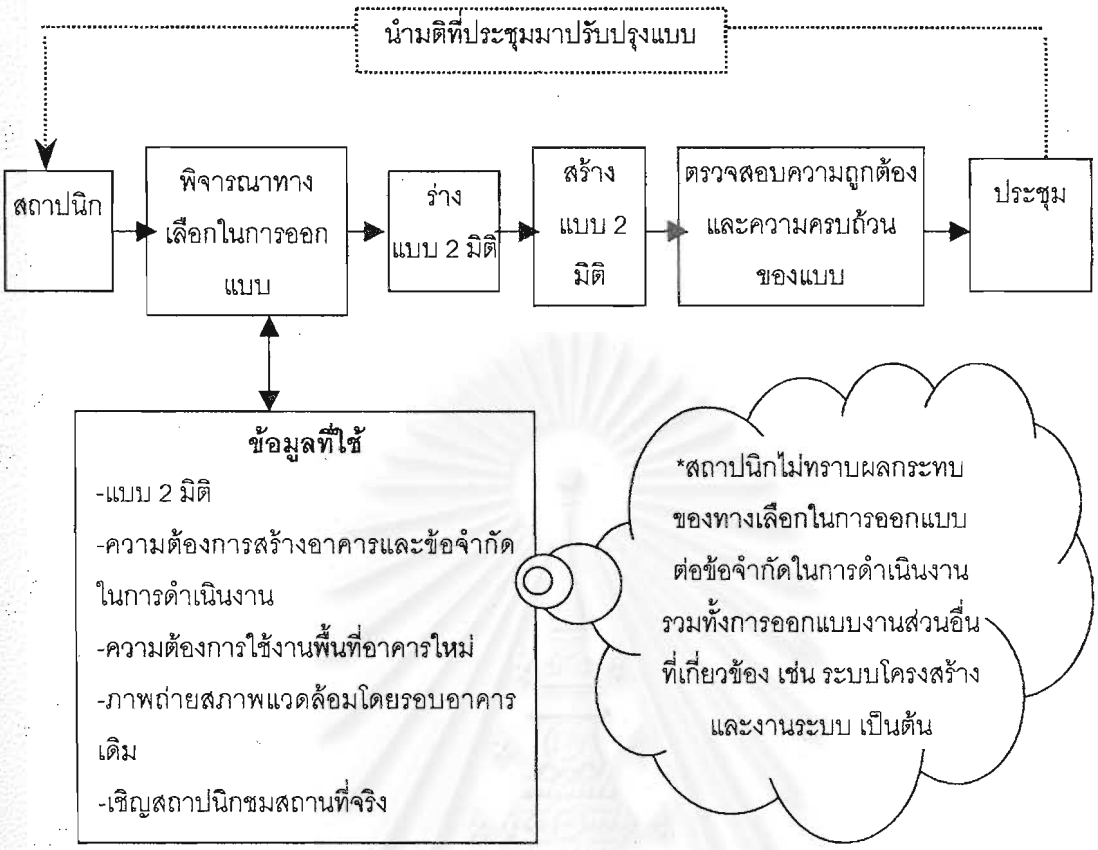
ก.รูปอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1 ข.รูปอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1 และชั้นที่2

ค.รูปอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1 ชั้นที่2 และตำแหน่งโครง Truss ง.รูปอาคารภายนอกทั้งหมด

รูปที่4.1 แสดงลักษณะของอาคารปฏิบัติการเชิญวิศวกรรม (ที่มีอยู่เดิม) โดยสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

4.1.1 การพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบของสถาปนิก

รูปที่ 4.2 เป็นรูปแบบการดำเนินงานโดยทั่วไปของสถาปนิกซึ่งมีการใช้แบบ 2 มิติ (แบบพิมพ์เขียว) เป็นเครื่องมือในการดำเนินงาน ผลจากการประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษานี้พบว่าการใช้แบบ 2 มิติทำให้สถาปนิกไม่สามารถทราบผลกระทบของทางเลือกในการออกแบบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานได้ เนื่องจากแบบ 2 มิติไม่สามารถให้ข้อมูลซึ่งจำลองสภาพความเป็นจริงในลักษณะ 3 มิติของโครงการที่มีความซับซ้อนเช่นในกรณีศึกษานี้ได้

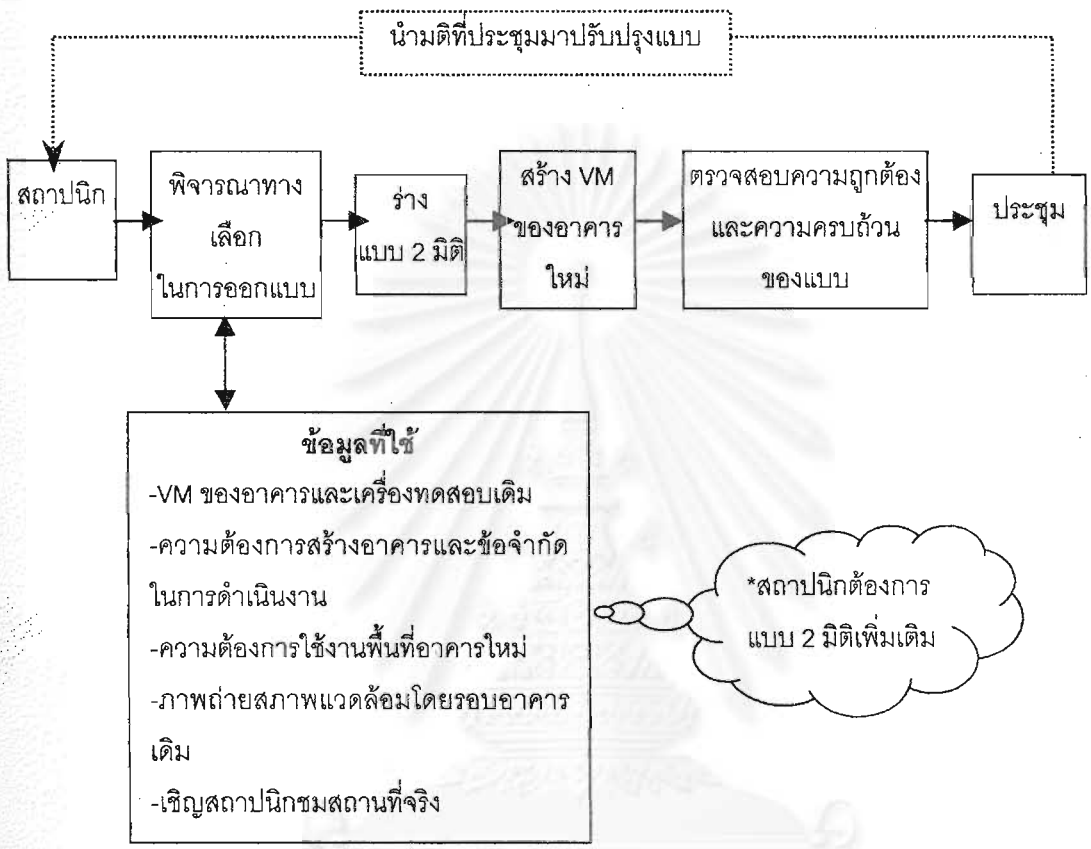


รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการดำเนินงานของสถาปนิก
เมื่อมีการนำแบบ 2 มิติมาประยุกต์ใช้

ผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานของสถาปนิกในกรณีศึกษานี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องจากช่วยให้สถาปนิกสามารถเข้าไปสำรวจในมิติของภาพเสมือนจริง ซึ่งไม่สามารถทำได้โดยใช้แบบรูปในลักษณะ 2 มิติอย่างที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

สถาปนิกสามารถเห็นรูปแบบของการวางผังและโครงสร้างของอาคารภายใต้ข้อจำกัดของตำแหน่งโครงสร้างเดิมและอาคารข้างเคียง รวมทั้งคำนึงถึงผลกระทบของการก่อสร้างที่มีต่อการใช้สอยพื้นที่ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น การวางตำแหน่งแกนช่องลิฟต์ที่ไม่มีผลกระทบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบขนาดใหญ่ และทำการเปิดพื้นที่ก่อสร้างน้อยที่สุด รวมทั้งการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านหลังและด้านข้างอาคาร ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.27 ตามลำดับ เป็นต้น ทำให้การใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบของสถาปนิกสามารถช่วยให้สถาปนิกสามารถทราบผลกระทบของทางเลือกในการออกแบบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานในแต่ละทางเลือกได้ชัดเจนมากกว่าการใช้แบบ 2 มิติ

แต่อย่างไรก็ตามสถาปนิกยังมีความต้องการร่างแบบ 2 มิติของอาคารที่ออกแบบใหม่ร่วมกับการใช้แบบ 2 มิติของอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม เพื่อพิจารณาทางเลือกในการออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของเจ้าของโครงการมากที่สุด



รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการดำเนินงานของสถาปนิกในกรณีศึกษา
เมื่อมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้

4.1.2 ตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบ

รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงลักษณะการดำเนินงานของสถาปนิก โดยเริ่มจากการนำข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการมาพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบ และทำการร่าง (Sketch) แบบที่ได้ออกแบบบนกระดาษในลักษณะ 2 มิติ หลังจากนั้นจะนำมาสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบรูปที่ได้ทำการร่างไว้ เมื่อสถาปนิกพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบจำลองเสมือนจริงแล้วจะนำไปประชุมเพื่อให้เจ้าของโครงการ วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างพิจารณาความพึงพอใจ ความเป็นไปได้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรม หากมติ

ของที่ประชุมมีความต้องการให้ปรับปรุงแก้ไขแบบ สถาปนิกก็จะเป็นผู้ดำเนินการแก้ไขแบบและดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นตามวงจรนี้จนผลการออกแบบในส่วนของสถาปนิกแล้วเสร็จ

เพื่อให้เห็นขั้นตอนของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงของสถาปนิกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้แบ่งประเด็นของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนผลการออกแบบของสถาปนิกใน 4 ประเด็นอันได้แก่ (1) การตรวจสอบผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน (2) การตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ (3) การตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนแบบในบางประเด็นที่อาจหลงลืมได้ง่ายหากมีการใช้แบบ 2 มิติและ (4) การตรวจสอบพื้นที่ใช้งานตามความต้องการของเจ้าของ

4.1.2.1 การตรวจสอบผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน (ตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่ง)

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลมาจากกรณีศึกษา โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างที่มีข้อจำกัดในการดำเนินงานหลายประการดังแสดงในหัวข้อ 3.3.3 ทำให้การออกแบบทางสถาปัตยกรรมและทางวิศวกรรมจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างอาคารที่มีอยู่เดิมและอาคารที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยแบ่งประเภทการพิจารณาการซ้อนทับตำแหน่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทที่หนึ่งเป็นการซ้อนตำแหน่งกับโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก เช่น เสา คาน พื้น ฐานราก ตอม่อ คานคอดิน และเครื่องทดสอบเดิมที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ หากอาคารที่ออกแบบใหม่มีการซ้อนทับตำแหน่งในลักษณะนี้สถาปนิกจำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขผลการแบบให้การซ้อนทับตำแหน่งประเภทนี้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

ประเภทที่สองเป็นการซ้อนทับตำแหน่งกับโครงสร้างที่ไม่รับน้ำหนัก เช่น ผนังอาคาร และเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ แม้ว่าการซ้อนทับตำแหน่งประเภทนี้จะมีความสำคัญน้อยกว่าการซ้อนทับตำแหน่งประเภทแรก แต่หากมีการซ้อนทับตำแหน่งในลักษณะนี้มากเกินไปอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น ความต้องการใช้งานอาคารที่มีอยู่เดิม เป็นต้น รวมทั้งส่งผลให้การวางแผนงานก่อสร้างจริงสามารถทำได้ยาก

รูปที่ 4.4 แสดงแบบ 2 มิติซึ่งแสดงเครื่องหลอดลบเดิม อาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2
เมื่อมีการซ้อนทับตำแหน่งกับอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่

(ก) รูปอาคารและเครื่องหลอดลบเดิมชั้นที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

(ข) รูปอาคารและเครื่องหลอดลบเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

รูปที่ 4.5 แบบจำลองสมมติจริงแสดงการซ้อนทับตำแหน่งอาคาร
และเครื่องหลอดลบเดิมกับอาคารที่ออกแบบใหม่

(ก) รูปแสดงอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1 (ข) รูปแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาและผนังใหม่กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1

รูปที่ 4.6 แสดงความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการแสดงภาพเฉพาะอาคารที่มีอยู่เดิม และแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาใหม่ กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1

(ก).รูปแสดงผลกระทบจากตำแหน่งเสาใหม่ต่อเสาและคานเดิมชั้น 2 (ข) รูปแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาใหม่กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1

รูปที่ 4.7 แสดงความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการแสดงภาพเฉพาะอาคารที่มีอยู่เดิม และแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเสาใหม่ กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิม

(ก).รูปแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างแกนช่องลิฟต์กับอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1 (ข).รูปแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างแกนช่องลิฟต์กับอาคารเดิมชั้นที่ 2

รูปที่ 4.8 แสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างแกนช่องลิฟต์ กับเครื่องทดสอบและอาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2

(ก).รูปแสดงพื้นอาคารชั้นที่ 3 มีการซ้อนทับตำแหน่งกับเสาเดิมเพื่อรับโครง Truss

(ข).รูปแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างบันไดหนีไฟของอาคารใหม่กับผนังอาคารเดิม

รูปที่ 4.9 แสดงการซ้อนทับตำแหน่งของพื้นอาคารชั้น 3 กับเสาเดิม และการซ้อนทับตำแหน่งของบันไดหนีไฟกับอาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2

รูปที่ 4.4 เป็นการนำแบบ 2 มิติมาแสดงการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างเครื่องทดสอบเดิมอาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 กับอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ แม้ว่าในแบบดังกล่าวมีการใช้สีที่แตกต่างกัน เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของอาคารและเครื่องทดสอบเดิมกับอาคารใหม่ เช่น สีฟ้าหมายถึงเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมและสามารถเคลื่อนย้ายได้ สีม่วงหมายถึงผนังอาคารเดิม สีน้ำเงินหมายถึงตำแหน่งของเสาเดิม และสีเขียวหมายถึงตำแหน่งของเสาใหม่ภายในอาคาร เป็นต้น แต่แบบ 2 มิติมีความสามารถในการแสดงข้อมูลได้เพียงสองมิติทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานในด้านการซ้อนทับตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อจำกัดของแบบ 2 มิติ ทำให้งานวิจัยนี้มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ปฏิบัติสามารถตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งของโครงสร้างเดิม ตำแหน่งของเสา คาน พื้น โดยเฉพาะฐานราก และงานทางสถาปัตยกรรม โดยมีการกำหนดสีที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับแบบ 2 มิติในรูปที่ 4 เช่น สีแดงหมายถึงองค์ประกอบที่มีข้อจำกัดมาก สีฟ้าหมายถึงเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมและสามารถเคลื่อนย้ายได้ สีม่วงหมายถึงผนังอาคารเดิม สีน้ำเงินหมายถึงตำแหน่งของเสาเดิม และสีเขียวหมายถึงตำแหน่งของเสาใหม่ภายในอาคาร เป็นต้น โดยให้มีการแสดงขนาดและสัดส่วนเทียบกับองค์ประกอบจริง

ตัวอย่างการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งของสถาปนิก

-การตรวจสอบตำแหน่งเสาภายในอาคารเพื่อรองรับน้ำหนักอาคารใหม่

การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องเพื่อช่วยให้สถาปนิกสามารถตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งเสาใหม่ภายในอาคารกับอาคารเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 จากแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงให้เห็นภาพรวมของการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างอาคารใหม่กับอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม รูปที่ 4.6 เป็นการแสดงความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงในการเลือกแสดงภาพเหมือนจริงได้ตามต้องการ และรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงให้เห็นภาพรวมของการซ้อนทับตำแหน่งในลักษณะบินชม รวมทั้งการแสดงให้เห็นการซ้อนทับตำแหน่งในลักษณะเดินชม ณ จุดที่สถาปนิกต้องการ จากข้อมูลที่ได้รับจากแบบจำลองเสมือนจริงทำให้สถาปนิกสามารถนำไปใช้งานการปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งเสาใหม่เพื่อให้มีการซ้อนตำแหน่งกับโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก เช่น เสา คาน พื้น ฐานราก ตอม่อ คานคอดิน และเครื่องทดสอบเดิมที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้น้อยที่สุด

-การตรวจสอบตำแหน่งแกนช่องลิฟต์

การตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งของแกนช่องลิฟต์ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถแสดงภาพเสมือนจริงของตำแหน่งแกนช่องลิฟต์ที่ออกแบบใหม่วางซ้อนอยู่กับตำแหน่งของเครื่องทดสอบและอาคารชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เดิม โดยสถาปนิกสามารถเข้าไปชมในมุมมองที่ต้องการได้ จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของแกนช่องลิฟต์มีการซ้อนทับตำแหน่งกับโครงสร้างที่ไม่รับน้ำหนัก เช่น ผนังอาคาร และเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้ ทำให้สถาปนิกเกิดความมั่นใจว่าตำแหน่งแกนช่องลิฟต์ไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างที่รับน้ำหนักรวมทั้งเครื่องทดสอบที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้

-การตรวจสอบพื้นอาคารชั้นที่ 3 มีการซ้อนทับตำแหน่งกับเสาเดิมเพื่อรับโครง Truss

การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างพื้นอาคารชั้นที่ 3 กับเสาเดิม (เพื่อรับโครง Truss) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) ช่วยให้สถาปนิกสามารถเห็นความสูงของเสาเดิมซึ่งสูงกว่าระดับพื้นในชั้นที่ 3 อย่างชัดเจน ทำให้สถาปนิกสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการติดต่อประสานงานกับวิศวกร เช่น ทางเลือกในการเพิ่มความสูงของชั้นเพื่อหลบเสาเดิมหรือ การเอาเสาเดิมออก (เสาเดิมที่สูงเกินขึ้นมา)

-การตรวจสอบตำแหน่งของบันไดหนีไฟ

รูปที่ 4.9 (ข) เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของบันไดหนีไฟซึ่งตั้งอยู่ภายในอาคารที่ได้ทำการออกใหม่ กับตำแหน่งของอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่

เดิมได้อย่างชัดเจน ทำให้สถาปนิกสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งของบันไดหนีไฟใหม่เพื่อให้ส่งผลกระทบต่ออาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อยที่สุด ซึ่งในภาพเสมือนจริงจะระบุด้วยสีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

จากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างอาคารที่ออกแบบใหม่กับอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม พบว่าสามารถช่วยให้สถาปนิกเห็นภาพการซ้อนทับตำแหน่งหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน

4.1.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

การออกแบบของสถาปนิกก่อนที่ผลการออกแบบจะแล้วเสร็จสมบูรณ์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขหลายครั้ง ในบางโครงการอาจมีการจำลองรูปแบบทางกายภาพขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากการสร้างแบบจำลองทางกายภาพมีข้อจำกัดในการนำมาใช้หลายประการ เช่น ใช้เวลาในการสร้างนาน ขาดความยืดหยุ่นในการสร้างทางเลือกต่างๆ และไม่สามารถแสดงผลแบบ Real Time ในมุมมองที่ผู้ใช้ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ในทางเลือกต่างๆ

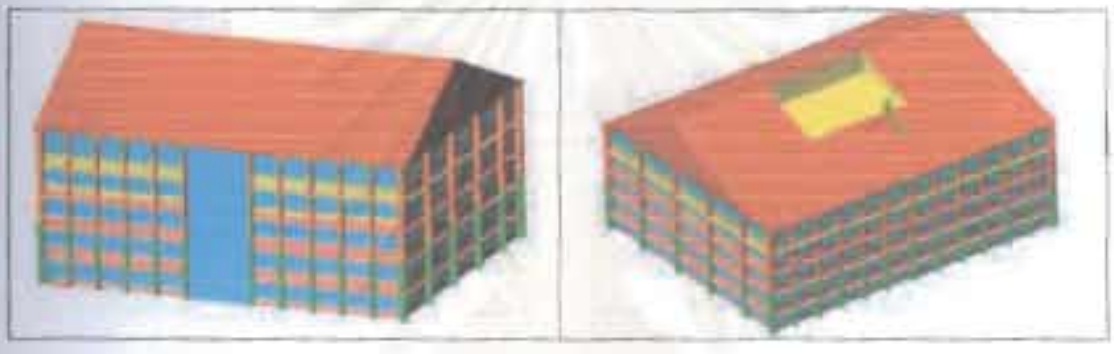
การดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการประชุมหลายครั้ง (การประชุมย่อยและการประชุมรวม) การประชุมแต่ละครั้งส่งผลให้สถาปนิกนำข้อมูลจากการประชุมมาปรับปรุงผลการออกแบบและนำมาสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาแสดงภาพรวมของอาคารใหม่ที่ออกแบบ ณ วันที่ 25 เมษายน 45 โดยแสดงเป็นสองทางเลือกซึ่งทั้งสองทางเลือกมีรูปแบบในส่วนของอาคารเหมือนกันแต่แตกต่างกันเฉพาะในส่วนของหลังคา รูปที่ 4.10 เป็นการใช้หลังคาแบบปั้นหยา และรูปที่ 4.11 เป็นการใช้หลังคาแบบหน้าจั่ว

รูปที่ 4.12 เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาแสดงภาพรวมของอาคารใหม่ที่ปรับปรุงการออกแบบ ณ วันที่ 12 มิถุนายน 45 เพื่อแสดงภาพรวมของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ โดยการออกแบบในครั้งนี้เป็นการออกแบบให้บันไดหนีไฟแบบตั้งอยู่ภายนอกตัวอาคาร ณ บริเวณด้านหลังอาคาร

ผลจากการประชุมร่วมกันระหว่างเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรต่างๆ ซึ่งมีมติให้ปรับปรุงรูปแบบของบันไดหนีไฟให้ซ่อนอยู่ภายในตัวอาคาร โดยทำเป็นสองทางเลือกคือ การวางบันไดหนีไฟไว้ด้านหลังอาคารและการวางบันไดหนีไฟไว้ด้านข้างอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) (ด้านหน้าอาคารเหมือนกับรูปที่ 4.12 (ก)) ซึ่งเป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาแสดงภาพรวมของอาคารใหม่ที่ปรับปรุงการออกแบบเฉพาะตำแหน่งบันไดหนีไฟ (ส่วนอื่นยังเหมือนเดิม) ณ วันที่ 4 กรกฎาคม 45 โดยรูปที่ 4.13 (ก) เป็นการแสดงภาพรวมด้านหลังของอาคารในกรณีที่บันไดหนีไฟอยู่ด้านหลังอาคาร และรูปที่ 4.13 (ข) เป็นการแสดงภาพรวมด้านหลังของอาคารในกรณีที่บันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร

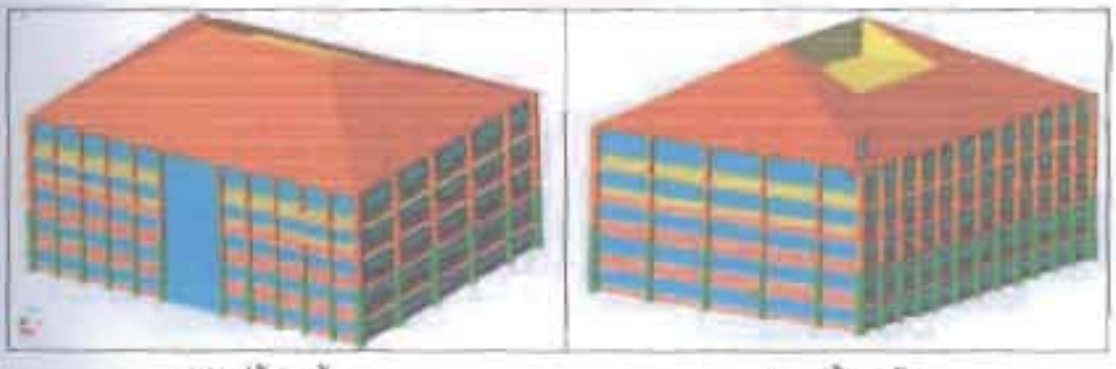
อย่างไรก็ตาม รูปที่ 4.14 เป็นแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งแสดงผลการแก้ไขรูปทรงหลังคาจากผลการออกแบบ ณ วันที่ 4 กรกฎาคม45 ตามความต้องการของเจ้าของโครงการ



(ก).รูปด้านหน้า (ข) รูปด้านหลัง

รูปที่ 4.10 แสดงภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่ (หลังคาแบบปั้นหยา)

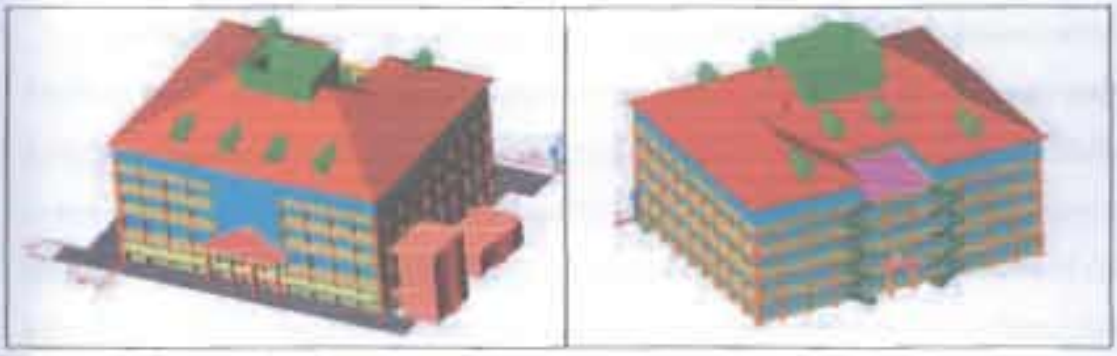
ผลการออกแบบวันที่ 25 เมษายน 45



(ก).รูปด้านหน้า (ข).รูปด้านหลัง

รูปที่ 4.11 แสดงภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่ (หลังคาแบบหน้าจั่ว)

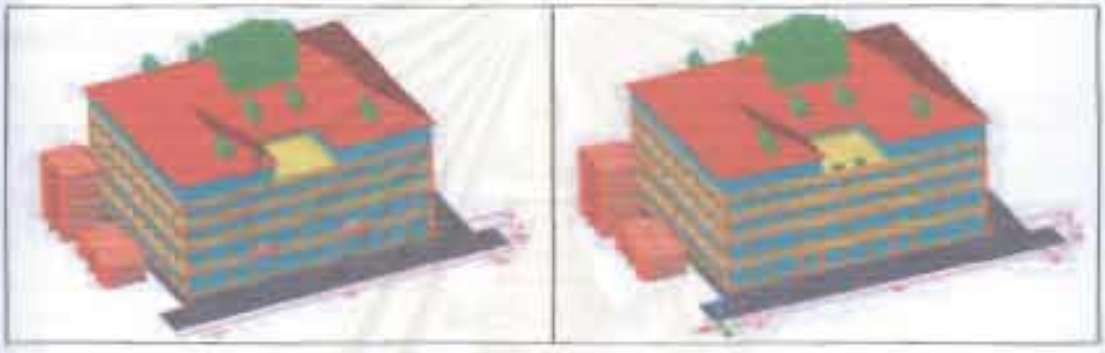
ผลการออกแบบวันที่ 25 เมษายน 45



(ก).รูปด้านหน้า (ข).รูปด้านหลัง

รูปที่ 4.12 แสดงภาพรวมของอาคารที่ยอกแบบใหม่ โดยบันไดหนีไฟอยู่ภายนอกด้านหลังตัวอาคาร

ผลการออกแบบวันที่ 12 มิถุนายน 46

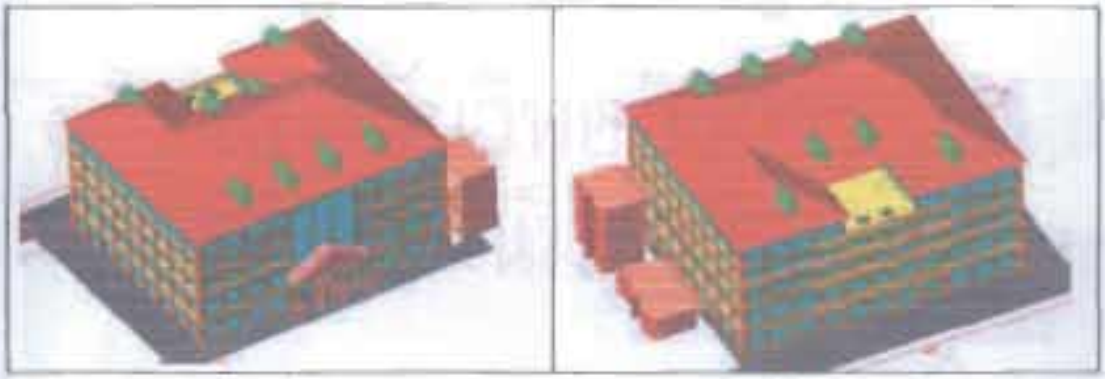


(ก).รูปด้านหลัง กรณีบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร โดยซ่อนอยู่ภายในอาคาร

(ข).รูปด้านหลัง กรณีหนีไฟอยู่ด้านหลังอาคาร โดยซ่อนอยู่ภายในอาคาร

รูปที่ 4.13 แสดงภาพรวมของอาคารเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบบันไดหนีไฟ

ผลการออกแบบวันที่ 4 กรกฎาคม 46



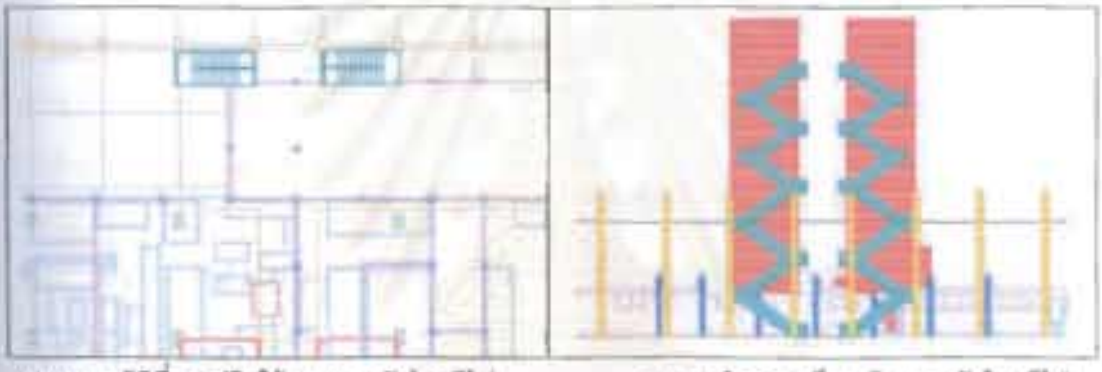
(ก).รูปด้านหน้าอาคาร (ข).รูปด้านหลังอาคาร

รูปที่ 4.14 แสดงภาพรวมของอาคารเมื่อมีการปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของหลังคา

ผลการออกแบบวันที่ 19 สิงหาคม 46

ผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ พบว่าสามารถช่วยให้สถาปนิกสามารถตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของผลการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ช่วยแสดงให้เห็นภาพเหมือนจริงของอาคารที่ออกแบบใหม่ก่อนการก่อสร้างของทางเลือกที่ออกแบบในแต่ละทางเลือก รวมทั้งสามารถบันทึกข้อมูลผลการออกแบบในแต่ละครั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้สถาปนิกและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเห็นภาพเหมือนจริงซึ่งแสดงพัฒนาการของการเปลี่ยนแปลงแบบในแต่ละครั้ง (จากการประชุมย่อยและการประชุมรวม) เป็นต้น อันส่งผลให้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดจากการออกแบบของสถาปนิกและช่วยให้การสื่อสารระหว่างสถาปนิกกับเจ้าของโครงการและวิศวกรเกิดความเข้าใจที่ตรงกันง่ายยิ่งขึ้น

4.1.2.3 **การตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนแบบในบางประเด็นที่อาจหลงลืมได้ง่ายหากมีการใช้แบบ 2 มิติ**



(ก).แบบ 2 มิติที่สถาปนิกใช้ออกแบบบันไดหนีไฟ (ข) แบบจำลองเสมือนจริงแสดงบันไดหนีไฟ

รูปที่ 4.15 แสดงการตรวจสอบขนาดของบันไดหนีไฟโดยใช้แบบ 2 มิติเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองเสมือนจริง

(ก).ผลกระทบจากขนาดบันไดหนีไฟ ต่อการปรับปรุงการกั้นผนังห้อง

(ข) การใช้งานบันไดหนีไฟชั้น 5 และส่วนตกแต่งเพื่อเพิ่มความสวยงาม

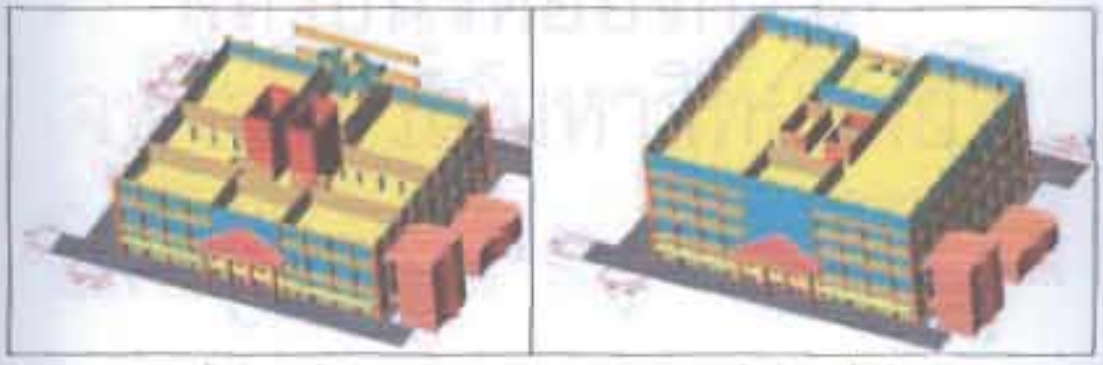
รูปที่ 4.16 ผลกระทบจากขนาดบันไดหนีไฟ ต่อ การปรับปรุงการกั้นผนังห้อง และการใช้งานบันไดหนีไฟชั้น 5 และส่วนตกแต่งเพื่อเพิ่มความสวยงาม

นอกจากความสามารถในการช่วยตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของภาพรวมของอาคารที่ออกแบบใหม่แล้ว แบบจำลองเสมือนจริงยังสามารถช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของผลการออกแบบของสถาปนิกในประเด็นที่อาจหลงลืมได้ง่าย เช่น

การดำเนินงานภายในกรณีศึกษา ดังรูปที่ 4.15 (ก) เป็นการร่างแบบ2 มิติของตำแหน่งบันไดหนีไฟจากเดิมวางอยู่นอกอาคารให้เปลี่ยนมาเป็นวางอยู่ภายในอาคาร การดำเนินงานแก้ไขตำแหน่งของบันไดหนีไฟในครั้งนี้เป็นการดำเนินงานแก้ไขควบคู่ไปกับการเพิ่มความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ให้มีความสูงมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 เท่ากับ 1 เมตร ซึ่งการใช้แบบ 2 มิติดังรูปที่ 4.15 (ก) เพียงอย่างเดียวทำให้สถาปนิกสนใจถึงความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ที่มีผลต่อขนาดของบันไดหนีไฟและสามารถตรวจสอบได้ยากหากไม่มีการใช้แบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ข) นอกจากนี้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้สถาปนิกทราบผลกระทบจากขนาดบันไดหนีไฟต่อการปรับปรุงการกั้นผนังห้องได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.16 (ก) รวมทั้งสามารถช่วยให้สถาปนิกสามารถเห็นรูปแบบการใช้งานบันไดหนีไฟชั้น 5 และส่วนตกแต่งเพื่อเพิ่มความสวยงาม (ด้านหลังอาคาร) ดังรูปที่ 4.16 (ข) จากข้อมูลที่ได้รับจากแบบจำลองเสมือนจริงดังกล่าว ทำให้สถาปนิกสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงผลการออกแบบให้มีความครบถ้วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

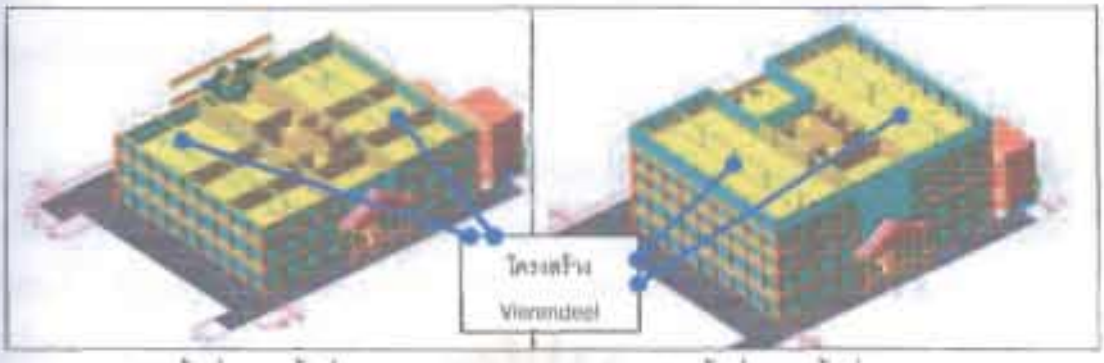
4.1.2.4 การตรวจสอบพื้นที่ใช้งานตามความต้องการของเจ้าของ

เพื่อให้อาคารที่ออกแบบใหม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของเจ้าของโครงการ สถาปนิกมีความจำเป็นต้องออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงพื้นที่ใช้งาน และเมื่อออกแบบแล้วเสร็จจำเป็นต้องมีการตรวจสอบขนาดพื้นที่ใช้งานที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของเจ้าของโครงการ



(ก) พื้นที่ใช้งานชั้นที่ 3 (ข) พื้นที่ใช้งานชั้นที่ 6

รูปที่ 4.17 แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ใช้งานอาคารที่ได้ออกแบบใหม่



(ก).พื้นที่อาคารชั้นที่ 3 (ข).พื้นที่อาคารชั้นที่ 5

รูปที่ 4.18 ผลกระทบจากการเลือกประเภทโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก ต่อ การออกแบบขนาดห้องของสถาปนิก

การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาในการตรวจสอบขนาดพื้นที่ใช้งานของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.17 สามารถช่วยให้สถาปนิกสามารถเห็นภาพที่เหมือนจริงของการจัดห้องภายในอาคารอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการนำเสนอผลการออกแบบของสถาปนิกต่อเจ้าของโครงการและวิศวกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม จากผลการติดต่อประสานงานกับวิศวกรซึ่งต้องการออกแบบให้โครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักอาคารใหม่เป็นโครงสร้างเหล็กแบบ Vierendeel ทำให้สถาปนิกจำเป็นต้องนำผลการออกแบบของวิศวกรดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.18 มาใช้ในการปรับปรุงผลการออกแบบขนาดห้องและการกั้นผนังห้อง ให้มีความสอดคล้องกับความต้องการใช้งานพื้นที่ภายในอาคาร รวมทั้งความสวยงามของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การติดต่อสื่อสารร่วมกันระหว่าง เจ้าของ สถาปนิกและวิศวกรเมื่อมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริง

ลักษณะการดำเนินงานของแต่ละฝ่ายอันได้แก่ เจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง มีลักษณะการดำเนินงานที่แตกต่างและเป็นอิสระจากกัน แต่ในกรณีที่ผลของการดำเนินงานหรือผลการตัดสินใจของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีความผิดพลาด ผลเสียที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้อง (Akinsola *et al.* 2000, Anumba *et al.* 1997)

ในหัวข้อนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลจากนำแบบจำลองเสมือนจริงไปประยุกต์ใช้ด้านการติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างฝ่ายของเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง เนื่องจากรูปแบบของการดำเนินงานในช่วงของการออกแบบก่อนการก่อสร้างมีความจำเป็นต้องทำการประชุมหลายครั้งเพื่อให้การดำเนินงาน การติดต่อประสานงานและการแลกเปลี่ยนข้อมูลเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดรูปแบบการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 เป็นการแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุมในแต่ละครั้งซึ่งเป็นการเชิญเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมาประชุมพร้อมกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการประชุมรวมจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งการประชุมแต่ละครั้งแบ่งส่วนของการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนอันได้แก่

ส่วน (ก) เป็นการศึกษาการผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ระหว่างการติดต่อประสานงาน โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น

(1) การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ

โดยมีประเด็นที่พิจารณา คือ ความพึงพอใจด้านความสวยงาม พื้นที่ใช้งาน และการตัดสินใจให้มีการแก้ไขแบบ (ในกรณีที่ไม่พึงพอใจ) ของเจ้าของโครงการ

(2) การติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง

โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็นสามส่วนอันได้แก่ ส่วนของงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างและงานฐานราก และในแต่ละส่วนจะพิจารณาในประเด็น 3 ประเด็นคือ

(2.1) ด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน

ทางเลือกในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและทางวิศวกรรมสำหรับการดำเนินงานในกรณีศึกษานี้จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลายประการ เช่น ตำแหน่งของโครงสร้างอาคารและ

เครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องทดสอบที่มีขนาดใหญ่มีราคาแพง เคลื่อนย้ายได้ลำบากหรือเสียหายง่าย ข้อจำกัดด้านการใช้งานอาคารปฏิบัติการ(เดิม) ข้อจำกัดด้านผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงและพื้นที่ของถนน เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบควรเลือกทางเลือกที่ส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดดังกล่าวน้อยที่สุด

นอกจากการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบตามข้อจำกัดข้างต้น สถาปนิกและวิศวกรต้องพิจารณาด้านความสวยงามและขนาดพื้นที่ใช้งานตามวัตถุประสงค์ของการก่อสร้างอาคารด้วย ซึ่งลักษณะการดำเนินงานข้างต้นไม่สามารถใช้เครื่องมือสำหรับติดต่อประสานงานในรูปแบบสองมิติที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทดลองนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับติดต่อประสานงานในช่วงของการออกแบบ โดยนำมาช่วยการพิจารณาด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน

(2.2) ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)

การพิจารณาเรื่องความสามารถก่อสร้างได้ในช่วงการออกแบบมีความสำคัญมากในการดำเนินงานในกรณีศึกษานี้ เนื่องจากเป็นโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดหลายประการทั้งในขั้นตอนออกแบบและขั้นตอนก่อสร้างจริง แม้ว่าในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะในส่วนของการออกแบบ แต่การออกแบบที่คำนึงถึงการก่อสร้างจริงจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการดำเนินงานจริง เช่น ลดปัญหาแบบรูปไม่สามารถก่อสร้างได้จริง เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการพิจารณาเรื่องความสามารถในการก่อสร้างได้ (เบื้องต้น) ควบคู่ไปกับการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบ โดยใช้แบบจำลองเสมือนจริงมาช่วยด้านการติดต่อประสานงาน

(2.3) ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่นๆ

จากผลของการตัดสินใจเลือกทางเลือกในการออกแบบของฝ่ายต่างๆ ที่มีความรู้ความชำนาญแตกต่างกัน อาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การติดต่อประสานงานเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ มีความจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลให้เข้าใจตรงกัน

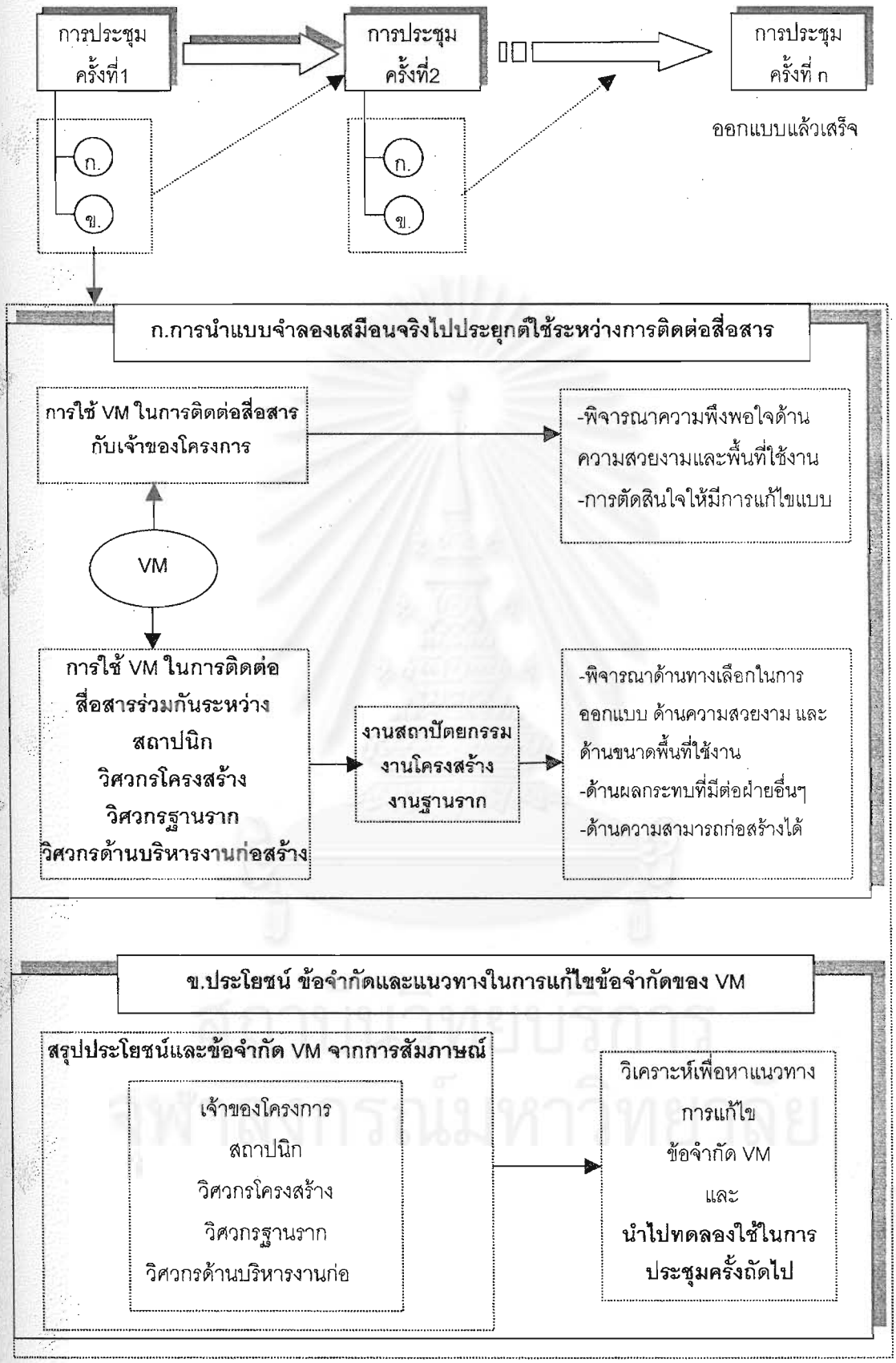
ในงานวิจัยนี้จึงทดลองนำแบบจำลองเสมือนจริงมาเป็นเครื่องมือสำหรับสื่อสารข้อมูลและผลการดำเนินงานของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

สาเหตุที่กำหนดให้ฝ่ายเจ้าของโครงการมีประเด็นในการพิจารณาน้อยกว่าฝ่ายสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการให้ผลสรุปของงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการดำเนินงานในกรณีทั่วไป ซึ่งฝ่ายเจ้าของโครงการอาจจะไม่มีความรู้เฉพาะทางด้านงานสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม แต่ในกรณีที่มีการนำผลสรุปของงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับเจ้าของโครงการที่มีความรู้เฉพาะทางด้านงานสถาปัตยกรรม

และวิศวกรรม เจ้าของโครงการดังกล่าวสามารถอ่านผลสรุปเพิ่มเติมในประเด็นด้านทางเลือกในการออกแบบ ผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่นๆ และความสามารถก่อสร้างได้

ส่วนที่ (ข) เป็นการศึกษาประโยชน์และข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงจากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง หลังจากนั้นผู้เขียนจะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสรุปผลเพื่อนำไปวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงข้อจำกัดสำหรับการประชุมครั้งถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

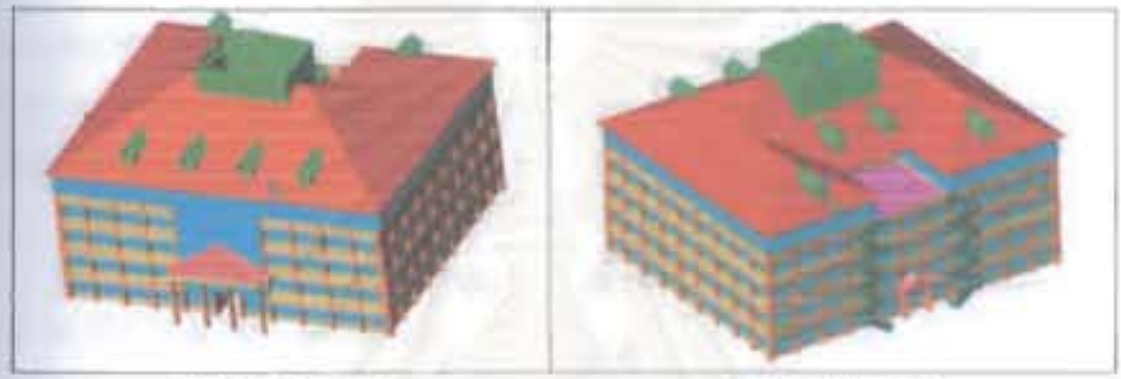


รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบการศึกษาผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริง
มาประยุกต์ใช้ด้านการติดต่อประสานงาน

4.2.1 การประชุมรวมครั้งที่ 1 (วันที่ 27 มิถุนายน 2545)

วัตถุประสงค์ของการประชุม

การดำเนินการประชุมในครั้งนี้เป็นการดำเนินการประชุมหลังจากสถาปนิกได้ทำการออกแบบตึกครอบแล้วเสร็จในขั้นตอนของแนวความคิดของอาคารโดยรวมเพื่อแสดงให้ฝ่ายต่างๆ อันได้แก่ เจ้าของโครงการ วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง สามารถเห็นภาพรวมและลักษณะหน้าตาของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ โดยสื่อสารผ่านแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.20



(ก) ด้านหน้าอาคาร (ข) ด้านหลังอาคาร

รูปที่ 4.20 แบบจำลองเสมือนจริงซึ่งแสดงลักษณะของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ (ก ด้านหน้าอาคาร และ ข ด้านหลังอาคาร)

แนวความคิดในการออกแบบ

อาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ถูกออกแบบให้ครอบอาคารที่มีอยู่เดิม (ผนังโดยรอบของอาคารใหม่ถูกออกแบบให้อยู่รอบนอกตัวอาคารที่มีอยู่เดิม) มีจำนวนชั้นทั้งหมด 5 ชั้น โดยชั้นที่หนึ่งและสองถูกออกแบบให้สร้างเพื่อครอบอาคารที่มีอยู่เดิมซึ่งมีจำนวนสองชั้น ส่วนชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ถูกออกแบบให้มีพื้นที่อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการใช้งานตามความต้องการของเจ้าของโครงการ

การควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง

ระหว่างการประชุมเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างสามารถเข้าไปชมแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งเป็นการจำลองอาคารที่ออกแบบใหม่ อาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมในมุมมองที่ต้องการได้ รวมทั้งสามารถควบคุมให้มีการแสดงภาพที่ต้องการหรือไม่แสดงภาพที่ไม่ต้องการได้ การแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง

เป็นการแสดงผลแบบโต้ตอบกับผู้ใช้ทันที รายละเอียดการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการประชุมครั้งนี้ได้แสดงในภาคผนวก ข

ก.การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ระหว่างการติดต่อสื่อสารระหว่างการประชุม (การประชุมรวมครั้งที่ 1)

(1) การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ

จากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ พบว่าสามารถช่วยให้เจ้าของโครงการสามารถเห็นภาพลักษณ์ที่ชัดเจนของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ก่อนการก่อสร้างจริงได้ อันส่งผลให้เจ้าของโครงการสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาในประเด็นดังนี้

(1.1) ความพึงพอใจด้านความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ หรือ การตัดสินใจให้มีการแก้ไขแบบ

ผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับสื่อสารรูปแบบของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ ในการประชุมในครั้งนี้พบว่าโดยภาพรวมเจ้าของโครงการมีความพึงพอใจต่อรูปแบบของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ทั้งด้านความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคาร โดยไม่มีความต้องการให้แก้ไขแบบ

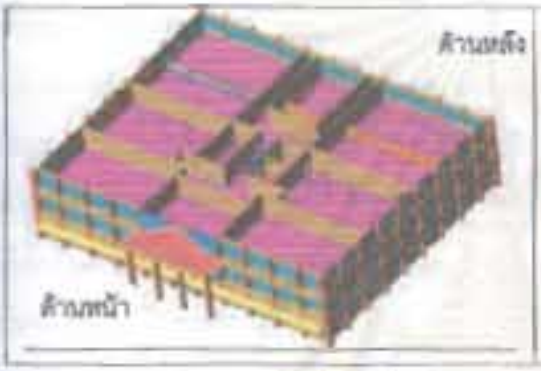
(2) การติดต่อสื่อสารร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง

(2.1) งานสถาปัตยกรรม

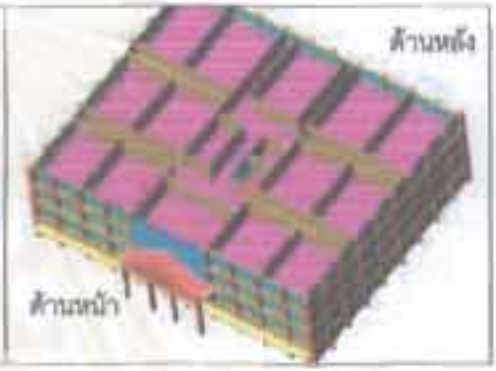
จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารร่วมกันระหว่างฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถช่วยให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าใจลักษณะรูปแบบของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่อย่างชัดเจน ดังมีรายละเอียดดังนี้

(ก) รูปอาคารและเครื่องทดสอบแผ่นดินชั้นที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

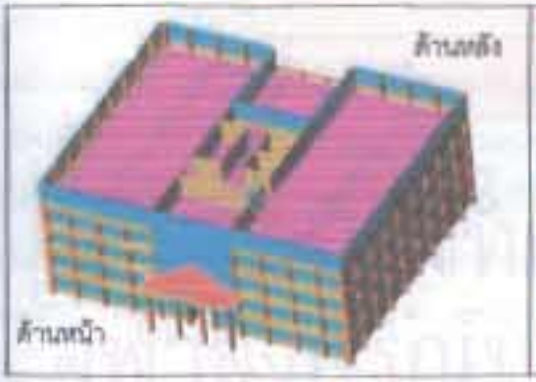
(ข) รูปอาคารและเครื่องทดสอบแผ่นดินชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่



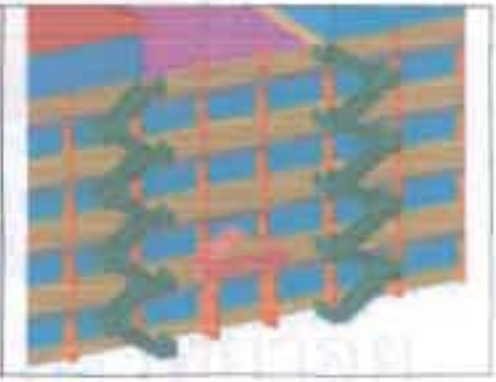
(ค) รูปเสาและผนังอาคารเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ชั้นที่ 3



(ง) รูปเสาอาคารเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ชั้นที่ 4



(จ) รูปอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ชั้นที่ 5



(ฉ) รูปบันไดหนีไฟ ด้านหลังอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่

รูปที่ 4.21 แบบจำลองสมือนจริงซึ่งแสดงรูปแบบของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ อาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม

(2.1.1) ด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน

บันไดหนีไฟ – เริ่มแรกสถาปนิกออกแบบบันไดหนีไฟให้วางอยู่ในตำแหน่งด้านหลังอาคารซึ่งวางด้านนอกตัวอาคาร โดยนำเสนอให้แก่ผู้ร่วมประชุมผ่านแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ข) และรูปที่ 4.21 (ฉ) ผู้ร่วมประชุมหลายฝ่ายมีความเห็นว่าการวางบันไดหนีไฟไว้ด้านนอกอาคารทำให้อาคารไม่สวยงาม และมีความเห็นว่าการวางบันไดหนีไฟไว้ภายในตัวอาคารจะทำให้ภาพรวมของอาคารมีความสวยงามมากกว่า มีความสะดวกต่อการทำความสะอาดและการบำรุงรักษามากกว่า แต่สูญเสียพื้นที่ใช้งานของอาคารเพียงเล็กน้อย (พื้นที่ของบันไดหนีไฟกรณีอยู่ภายในตัวอาคาร) จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีมติให้เปลี่ยนรูปแบบของบันไดหนีเป็นบันไดหนีไฟซึ่งซ่อนอยู่ภายในตัวอาคาร และให้สร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่สามารถแสดงลักษณะบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ภายในอาคาร โดยแสดงเป็นสองทางเลือก ทางเลือกแรกเป็นการแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟไฟแบบซ่อนอยู่ในอาคารบริเวณด้านหลังอาคาร และทางเลือกที่สองเป็นการแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ในอาคารบริเวณด้านข้างอาคาร (ด้านซ้ายและด้านขวา) เพื่อทดลองใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งของบันไดหนีไฟและผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น ผลกระทบต่อพื้นที่ใช้งานและรูปแบบการใช้งานของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ในการติดต่อประสานงานครั้งถัดไป

ประตูทางเข้าด้านหลังอาคาร – เริ่มแรกสถาปนิกออกแบบประตูทางเข้าด้านหลังอาคารโดยออกแบบเพื่อความสวยงามเท่านั้น (ไม่สามารถผ่านเข้าออกได้จริง) และนำเสนอผ่านแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ข) และรูปที่ 4.21 (ก ข และ ฉ)

จากการพิจารณาแบบจำลองเสมือนจริง ผู้ร่วมประชุมมีความเห็นว่าควรมีการออกแบบประตูด้านหลังให้สามารถใช้งานได้จริงและมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเส้นทางจราจรสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ (วัสดุสำหรับใช้ในการทดสอบภายในอาคารปฏิบัติการ) แต่หากออกแบบให้ประตูด้านหลังมีขนาดใหญ่ขึ้น ณ ตำแหน่งเดิมแบบจำลองเสมือนจริงแสดงให้เห็นว่าประตูดังกล่าวก็ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ตัดผ่านอุโมงค์ลมดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ก และ ข) ดังนั้นจึงมีมติให้แก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงในส่วนของประตูทางเข้าด้านหลังอาคาร จากเดิมมีหนึ่งประตู ให้เปลี่ยนเป็นมีสองประตูซึ่งมีลักษณะสมมาตรกันและมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเส้นทางจราจรสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ โดยประตูด้านที่ตรงกับอุโมงค์ลมถูกออกแบบเพื่อความสวยงาม ส่วนประตูอีกด้านถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้เป็นเส้นทางจราจรสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ

(2.1.2) **ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)**

ผลของการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบตำแหน่งของบันไดหนีไฟและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคาร ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถก่อสร้างได้ในด้านการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างโครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบใหม่กับโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม เพื่อลดปัญหาด้านการซ้อนทับตำแหน่งข้างต้น ที่ประชุมจึงมีมติให้สถาปนิกนำผลการออกแบบบันไดหนีไฟและประตูด้านหลังอาคารไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงในทางเลือกต่างๆ สำหรับใช้ในการประชุมครั้งถัดไป

(2.1.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่น ๆ**

ผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของงานสถาปัตยกรรม อันได้แก่ ตำแหน่งของบันไดหนีไฟและประตูทางเข้าด้านหลังอาคาร (ซึ่งแสดงผลโดยแบบจำลองเสมือนจริงในการประชุมครั้งถัดไป) ส่งผลกระทบต่อการออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้างและวิศวกรรมฐานราก คือ ทำให้วิศวกรโครงสร้างและวิศวกรฐานรากไม่สามารถออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานรากในตำแหน่งที่มีการแก้ไขได้อย่างชัดเจนเนื่องจากต้องรอผลการปรับปรุงแก้ไขแบบจากสถาปนิก นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการวางแผนการดำเนินงานในขั้นตอนการก่อสร้าง เช่น เส้นทางการขนส่งวัสดุ เส้นทางการเข้าออกอาคารปฏิบัติการ รวมทั้งการพิจารณาพื้นที่สำหรับทำงานระหว่างการก่อสร้างซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อถนนและอาคารโดยรอบ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม จากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อประสานงานพบว่าวิศวกรโครงสร้างและวิศวกรฐานรากสามารถพิจารณาทางเลือกในการออกแบบเบื้องต้นของโครงสร้างหลักของงานโครงสร้างและงานฐานรากได้ (ดังแสดงในส่วนของงานโครงสร้างและงานฐานราก)

(2.2) **งานโครงสร้าง**

ก่อนการประชุมรวมในครั้งนี้ได้มีการประชุมย่อยเพื่อพิจารณาการออกแบบรูปแบบของอาคารร่วมกับการพิจารณาทางเลือกของการวางตำแหน่งเสาของอาคารใหม่ออกเป็น 3 ทางเลือก อันได้แก่ การวางตำแหน่งเสาไว้ในแนวเดียวกับแนวอาคารเดิม การวางตำแหน่งเสาไว้ภายในแนวอาคารเดิมและ การวางตำแหน่งเสาไว้ภายนอกแนวอาคารเดิม ซึ่งในแต่ละทางเลือกส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานในโครงการนี้แตกต่างกัน จากการพิจารณาร่วมกับวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง ทางเลือกในการวางตำแหน่งเสาไว้ในแนวเดียวกับแนวอาคารเดิมและการวาง

ตำแหน่งเสาไว้ภายในแนวอาคารเดิมส่งผลกระทบอย่างมากต่อเครื่องทดสอบและโครงสร้างที่มีอยู่เดิม การใช้งานอาคารระหว่างการก่อสร้าง รวมทั้งผลกระทบด้านการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างโครงสร้างที่ออกแบบใหม่และโครงสร้างเดิม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการดำเนินงานในโครงการนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวางแผนวิธีและขั้นตอนการก่อสร้างจริง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงมากขึ้น ดังนั้นผลสรุปจากการประชุมย่อยจึงมีมติให้เลือกวางตำแหน่งเสาของโครงสร้างใหม่ไว้ภายนอกแนวอาคารเดิม

เนื่องจากในการติดต่อประสานงานในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอผลการออกแบบในส่วนของงานสถาปัตยกรรม และยังไม่มีการกำหนดรูปแบบของงานโครงสร้างที่ชัดเจนก่อนการประชุม ดังนั้นในส่วนงานโครงสร้างของการติดต่อประสานงานในครั้งนี้จึงเป็นการนำผลการออกแบบของสถาปนิกมาพิจารณารูปแบบของการออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานราก ซึ่งในส่วนของงานโครงสร้างมีรายละเอียดดังนี้

(2.2.1) **ด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน**

ทางเลือกในการออกแบบเสา - จากแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นลักษณะของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่เปรียบเทียบกับอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม ทำให้สถาปนิกและวิศวกรโครงสร้างสามารถประมาณจำนวนเสาและตำแหน่งเสาเบื้องต้นได้

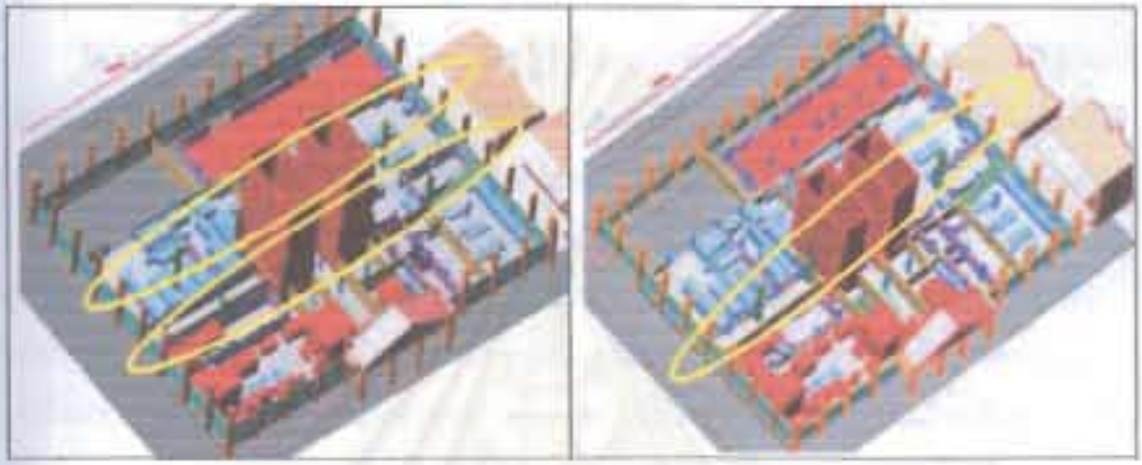
เมื่อวิศวกรโครงสร้างได้พิจารณาแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.21 วิศวกรโครงสร้างได้เสนอทางเลือกในการวางตำแหน่งเสาเบื้องต้นออกเป็นสองทางเลือกอันได้แก่ การวางตำแหน่งเสาออกเป็นสองแนว และการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแนวเดียว ซึ่งแต่ละทางเลือกก็มีข้อดีและข้อเสียที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างแตกต่างกัน

-ทางเลือกแรกเป็นการวางตำแหน่งเสาออกเป็นสองแถว ดังรูปที่ 4.22 (ก)

ทางเลือกนี้มีข้อดี คือ สามารถออกแบบขนาดเสาและหน้าตัดคานให้มีขนาดเล็กกว่าทางเลือกที่สองอันส่งผลให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มความสูงระหว่างชั้นให้มีความสูงเพิ่มขึ้นน้อยกว่าทางเลือกที่สอง (ทำให้เกิดความสวยงามทางสถาปัตยกรรมมากกว่า) ตำแหน่งเสาไม่ส่งผลกระทบต่อเส้นทางการขนส่งวัสดุเข้าอาคารปฏิบัติการ

แต่มีข้อเสีย คือ โครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบใหม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างชั้นหนึ่งและชั้นสอง การก่อสร้างจริงมีความจำเป็นต้องทำลายโครงสร้างพื้น คานและเสาเดิมบางส่วนมากกว่า

ทางเลือกที่สอง รวมทั้งส่งผลกระทบต่อเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมมากกว่าทางเลือกที่สอง (มีความจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบมากกว่าทางเลือกแรก โดยเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบเนื่องจากความต้องการใช้พื้นที่สำหรับการทำงานและพื้นที่สำหรับส่วนของงานโครงสร้างและงานฐานรากใหม่) ลักษณะดังกล่าวทำให้การดำเนินงานก่อสร้างจริงสามารถทำได้ยากและส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน



(ก) การวางตำแหน่งเสาออกเป็นสองแถว (ข) การวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว

รูปที่ 4.22 แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้พิจารณาทางเลือกในการวางตำแหน่งเสาภายในอาคารเพื่อรับน้ำหนักอาคารที่ออกแบบใหม่

-ทางเลือกที่สองเป็นการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว ดังรูปที่ 4.22 (ข)

ทางเลือกนี้มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างจากทางเลือกแรก โดยมีข้อดี คือ โครงสร้างที่ได้ออกแบบใหม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างชั้นหนึ่งและชั้นสองน้อย (มีความจำเป็นต้องทำลายโครงสร้างพื้น คานและเสาเดิมบางส่วนน้อยกว่าทางเลือกแรก) รวมทั้งส่งผลกระทบต่อเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อย ทำให้การดำเนินงานก่อสร้างจริงง่ายกว่าทางเลือกแรก

แต่มีข้อเสีย คือ มีความจำเป็นต้องออกแบบขนาดเสาและหน้าตัดคานขนาดใหญ่อันส่งผลให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มความสูงระหว่างชั้นให้มีความสูงเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้งานระหว่างชั้น (อาจส่งผลต่อความสวยงามทางสถาปัตยกรรม) นอกจากนี้ตำแหน่งเสายังส่งผลกระทบต่อเส้นทางการขนส่งวัสดุเข้าอาคารปฏิบัติการ

ทางเลือกในการออกแบบคาน - เนื่องจากสถาปนิกมีความต้องการให้โครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบใหม่มีผลกระทบต่ออาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อยที่สุด ทำให้สถาปนิกออกแบบตำแหน่งเสาให้มีระยะห่างกัน ทำให้วิศวกรโครงสร้างมีความจำเป็นต้องออกแบบคานที่มีหน้า

ตัดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากช่วงคานระหว่างเสาถึงเสามีช่วงยาว เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิศวกรโครงสร้างได้มีการพิจารณาเลือกใช้คานเป็นคานคอนกรีตอัดแรง (Post Tension Beam) เพื่อเป็นการลดขนาดหน้าตัดของคานให้มีขนาดเล็กลง ทำให้ได้พื้นที่ใช้งานระหว่างชั้นเท่ากับการใช้คานคอนกรีตแบบทั่วไป แต่มีความสูงระหว่างชั้นน้อยกว่า อย่างไรก็ตามหากมีการใช้รูปแบบโครงสร้างที่เหมือนกันทุกชั้น ความสูงระหว่างชั้นถึงชั้นจะมีความสูงเท่ากันทุกชั้น ซึ่งส่งผลให้มูลค่าของโครงการมีมูลค่าสูง

ในกรณีศึกษานี้ได้มีการพิจารณาเลือกใช้รูปแบบโครงสร้างแบบ Transfer Beam ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างที่ออกแบบให้เสาถ่ายน้ำหนักลงบนคานขนาดใหญ่ โดยออกแบบคานรองรับพื้นชั้นสามให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อเพิ่มสามารถในการรองรับเสาในชั้นสาม ชั้นที่สี่และชั้นที่ห้า โดยเสาวางอยู่บนคานซึ่งรองรับพื้นชั้นสาม การเลือกใช้รูปแบบโครงสร้างแบบ Transfer Beam ช่วยให้ความสูงระหว่างชั้นถึงชั้นของพื้นชั้นสาม ชั้นสี่และชั้นห้ามีความสูงลดลง อันส่งผลให้มูลค่าโดยรวมของโครงการมีมูลค่าลดลง แต่ส่งผลกระทบต่อความสวยงามของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่เนื่องจากความสูงระหว่างชั้นถึงชั้นของพื้นชั้นหนึ่งและชั้นสองมีความสูงมากกว่าชั้นอื่นๆ

ทางเลือกในการออกแบบพื้น - การพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบพื้นเป็นการพิจารณาให้สอดคล้องกับการออกแบบเสาและคานรวมทั้งข้อจำกัดในการดำเนินงาน จากการพิจารณาแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งมีอาคารและเครื่องทดสอบเดิมในชั้น ที่หนึ่งและชั้นที่สอง ทำให้วิศวกรโครงสร้างตัดสินใจเลือกใช้พื้นชั้นสามเป็นพื้นสำเร็จ ซึ่งมีช่วงยาวประมาณ 4.5 เมตร เพื่อให้การก่อสร้างพื้นส่งผลกระทบต่ออาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมให้น้อยที่สุด (พื้นสำเร็จแตกต่างจากการทำพื้นโดยทั่วไปคือช่วยลดการใช้พื้นที่สำหรับตั้งนั่งร้านและตั้งไม้แบบ นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน)

(2.2.2) **ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)**

จากการพิจารณาแบบจำลองเสมือนจริงควบคู่ไปกับทางเลือกในการออกแบบของวิศวกรโครงสร้าง วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมีความเห็นว่าการก่อสร้างในส่วนของเสาและพื้นสามารถดำเนินงานได้โดยไม่ยุ่งยากนัก แต่ส่วนที่ทำงานก่อสร้างยาก คือ การก่อสร้างคาน ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งคานรองรับพื้นชั้นสาม จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการวางนั่งร้านขนาดใหญ่ ลักษณะดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานอันได้แก่ส่งผลกระทบต่อตำแหน่งของเครื่องทดสอบและการใช้งานภายในอาคารปฏิบัติการที่มีอยู่เดิม

(2.2.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่นๆ**

ผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่นๆ ในส่วนของงานโครงสร้าง เป็นผลกระทบที่มีผลมาจากการออกแบบของสถาปนิกซึ่งต้องการให้สร้างเสาเพื่อรับน้ำหนักอาคารส่วนครอบน้อยที่สุด (เพื่อให้โครงสร้างอาคารใหม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อยที่สุด) ลักษณะดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อการออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานราก สำหรับงานโครงสร้างส่งผลให้ขนาดของเสาและคานมีขนาดใหญ่ ส่วนงานฐานรากส่งผลให้ขนาดฐานรากของอาคารส่วนครอบมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อแนวฐานรากของอาคารที่มีอยู่เดิม

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงเฉพาะในส่วนของการออกแบบงานโครงสร้างที่มีผลต่อฝ่ายอื่นๆ จากการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบของวิศวกรโครงสร้างซึ่งมั่นใจว่าส่วนของคานเพื่อรองรับน้ำหนักอาคารส่วนครอบจะมีขนาดใหญ่และมีผลกระทบต่อพื้นที่ใช้งานของอาคาร (ความสูงระหว่างชั้นลดลงเนื่องจากคานมีความลึกมาก) ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อการปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบของสถาปนิก ซึ่งมีความจำเป็นต้องแก้ไขแบบโดยเพิ่มความสูงของชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองของอาคารส่วนครอบให้มีความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากวิศวกรโครงสร้างเลือกใช้โครงสร้างแบบ Transfer Beam ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวอาจส่งผลต่อความสวยงามของภาพรวมของอาคารใหม่

ดังนั้นในการประชุมจึงมีมติให้สถาปนิกแก้ไขแบบโดยเพิ่มความสูงของชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองของอาคารส่วนครอบให้มีความสูงเพิ่มขึ้น โดยสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับใช้ในการพิจารณาระหว่างการประชุมครั้งถัดไป

(2.3) **งานฐานราก**

การพิจารณาส่วนของงานฐานรากในการดำเนินงานวิจัยนี้ เป็นการพิจารณาควบคู่ไปกับส่วนของงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม ในหัวเป็นการสรุปประเด็นเฉพาะในส่วนของงานฐานรากในด้านต่างๆ ดังมีรายละเอียดดังนี้

(2.3.1) **ด้านทางเลือกในการออกแบบ**

จากการนำแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.19 มาช่วยพิจารณาทางเลือกในการออกแบบงานฐานราก โดยช่วยให้วิศวกรฐานรากสามารถทราบข้อจำกัดด้านตำแหน่งของโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านพื้นที่ในการก่อสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกประเภทของเสาเข็ม ในกรณีศึกษานี้วิศวกรฐานรากมีความเห็นว่าไม่

สามารถเลือกใช้เสาเข็มตอกได้ เนื่องจากการใช้เสาเข็มตอกจะส่งผลกระทบต่อแรงดันตัวด้านข้าง และการสั่นสะเทือนของดิน ซึ่งอาจส่งผลเสียหายแก่อาคารโดยรอบ ดังนั้นวิศวกรฐานรากจึงเลือกใช้เสาเข็มเจาะ โดยทางเลือกของเสาเข็มเจาะมีอยู่ 2 ระบบ คือ เสาเข็มเจาะระบบเปียกและเสาเข็มเจาะระบบแห้ง

(2.3.2) **ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)**

จากการพิจารณาประเด็นด้านทางเลือกในการออกแบบทำให้ทางเลือกในการออกแบบฐานรากเหลืออยู่สองทางเลือก คือ เสาเข็มเจาะระบบเปียกและเสาเข็มเจาะระบบแห้ง จากการพิจารณาแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เสาเข็มเจาะระบบเปียกซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ไม่สามารถทำการก่อสร้างจริงได้ เนื่องจากมีพื้นที่ในการทำงานไม่เพียงพอ ทำให้การพิจารณาเลือกเสาเข็มเจาะระบบนี้เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นในกรณีศึกษานี้จำเป็นต้องเลือกใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง โดยเลือกใช้เครื่องเจาะแบบสามขาซึ่งใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยกว่าการทำเสาเข็มเจาะระบบเปียก โดยเจาะได้ใกล้อาคารเดิม 0.5 เมตรและมีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง

(2.3.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่น ๆ**

แม้ว่าการประชุมรวมในครั้งนี้วิศวกรฐานรากได้มีการพิจารณาเลือกใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง โดยใช้เครื่องเจาะแบบสามขา แต่เนื่องจากในขั้นนี้ยังไม่ได้มีการกำหนดตำแหน่งเสาที่แน่นอน ทำให้วิศวกรฐานรากไม่สามารถออกแบบขนาดฐานรากได้ อันส่งผลให้ไม่สามารถทราบผลกระทบจากขนาดฐานรากที่ออกแบบใหม่ต่อฐานรากที่มีอยู่เดิม เช่น ผลกระทบเนื่องจากการซ้อนทับตำแหน่ง และขั้นตอนการใช้พื้นที่ในการก่อสร้างฐานราก เป็นต้น

หากมีปัญหาการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างฐานรากใหม่กับฐานรากที่มีอยู่เดิม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องมีการพิจารณาเลือกตำแหน่งของเสาใหม่ ซึ่งในส่วนนี้จะส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของวิศวกรโครงสร้าง ในการเลือกรูปแบบโครงสร้างและตำแหน่งเสาใหม่ สถาปนิกจำเป็นต้องปรับปรุงรูปแบบอาคารให้สอดคล้องกับรูปแบบของงานโครงสร้าง และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างจำเป็นต้องพิจารณาวางแผนวิธีการและขั้นตอนการก่อสร้างใหม่

ซึ่งในส่วนนี้ที่ประชุมมีมติให้ฝ่ายวิศวกรโครงสร้างทำการประมาณตำแหน่งเสาและการถ่ายน้ำหนักลงยังฐานรากในแต่ละฐาน เพื่อให้วิศวกรฐานรากสามารถนำมาใช้ในการออกแบบขนาดของงานฐานรากได้

ข.สรุปประโยชน์และข้อจำกัดจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ (วันที่ 27 มิถุนายน 2545)

จากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อสื่อสารในการประชุมครั้งนี้ พบว่าสามารถทำให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ เจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างสามารถเข้าใจภาพรวมของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลองเสมือนจริงสามารถแสดงภาพในลักษณะกราฟิกสามมิติซึ่งเป็นการจำลองอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่เข้ามาแสดงภาพภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถเห็นลักษณะอาคารก่อนการดำเนินงานก่อสร้างจริง นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเข้าไปดูในมุมมองต่างๆที่ผู้ใช้ต้องการได้

ผลจากการทดลองนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุมในวันที่ 27 มิถุนายน 2545 สามารถสรุปประโยชน์ (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) และข้อจำกัด (ดังแสดงในตารางที่ 4.2)

แนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริง

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นข้อจำกัดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงาน ซึ่งสามารถแบ่งแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดออกได้เป็นสองแนวทางคือ (1) การปรับปรุงการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง และ(2) การใช้เครื่องมือในการสื่อสารอย่างอื่นเพิ่มเติม ดังมีรายละเอียดดังนี้

(1) การแก้ไขข้อจำกัดโดยการปรับปรุงการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง

จากการวิเคราะห์ข้อจำกัดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อประสานงาน อันได้แก่ โครงสร้างที่ออกแบบใหม่และโครงสร้างที่มีอยู่เดิมมีสีที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีการแสดงถนนและอาคารด้านข้างโดยรอบอาคาร ไม่สามารถเอาส่วนของเปลือกอาคาร (ผนังต่างๆ) ออกเพื่อแสดงเฉพาะส่วนของโครงสร้างได้ และไม่มีการแสดงผลในส่วนของงานฐานรากของโครงสร้างเดิม เป็นข้อจำกัดที่สามารถแก้ไขได้โดยปรับปรุงรูปแบบการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงโดย

(1.1) **ข้อจำกัดด้าน โครงสร้างที่ออกแบบใหม่และโครงสร้างที่มีอยู่เดิมมีสีที่ใกล้เคียงกัน**

แนวทางในการแก้ไข – ข้อจำกัดข้อนี้สามารถแก้ไขได้ โดยการเข้าไปเปลี่ยนสีของโครงสร้างที่ออกแบบใหม่และโครงสร้างที่มีอยู่เดิมให้มีสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ภายในซอฟต์แวร์ CAD ก่อนนำไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

(1.2) **ข้อจำกัดด้านแบบจำลองเสมือนจริงไม่มีการแสดงถนนและอาคารโดยรอบ**

แนวทางในการแก้ไข – ข้อจำกัดข้อนี้สามารถแก้ไขได้ โดยการเข้าไปสร้างแบบในลักษณะ 3 มิติของถนนและอาคารด้านข้างภายในซอฟต์แวร์ CAD ก่อนนำไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

(1.3) **ข้อจำกัดด้านแบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถกำหนดการแสดงผล โดยไม่สามารถเอาส่วนของเปลือกอาคาร (ผนังต่างๆ) ออก เพื่อแสดงเฉพาะส่วนของโครงสร้างได้**

แนวทางในการแก้ไข – ข้อจำกัดข้อนี้สามารถแก้ไขได้ โดยเข้าไปแก้ไขรูปแบบการควบคุมการแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริง

(1.4) **ข้อจำกัดด้านแบบจำลองเสมือนจริงไม่มีการแสดงผลในส่วนของงานฐานรากของโครงสร้างเดิม**

แนวทางในการแก้ไข – ข้อจำกัดข้อนี้สามารถแก้ไขได้ โดยการเข้าไปสร้างฐานรากของอาคารเดิมในลักษณะ 3 มิติ ภายในซอฟต์แวร์ CAD ก่อนนำไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

อย่างไรก็ตาม ในการติดต่อประสานงานในขั้นนี้ยังไม่ได้มีการสำรวจขนาดและรูปแบบของงานฐานรากเดิม ทำให้การดำเนินการประชุมในครั้งนี้และครั้งที่สองยังไม่มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงที่สามารถแสดงภาพเหมือนจริงของฐานรากที่มีอยู่เดิมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงประโยชน์ที่ได้รับจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุม วันที่ 27 มิถุนายน 2545 ในมุมมองของผู้ร่วมประชุม

ประโยชน์	เจ้าของโครงการ	สถาปนิก	วิศวกรโครงสร้าง	วิศวกรฐานราก	วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง
1.ช่วยแสดงภาพกราฟิก3มิติของแบบอาคารที่ได้ออกแบบใหม่: ง่ายสำหรับใช้ในการพิจารณาภาพรวมของอาคาร ความสวยงามและความสอดคล้องกับอาคารโดยรอบ	+	+	+	+	+
2.ช่วยแสดงพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ออกแบบใหม่ : เปรียบเทียบกับความต้องการใช้งานของพื้นที่ซึ่งได้กำหนดไว้แต่แรก	+	+			+
3.สะดวกในการพิจารณาการใช้งานอาคาร เช่น ตำแหน่งของลิฟต์ ตำแหน่งของบันไดหลัก ตำแหน่งของบันไดหนีไฟ ตำแหน่งของห้องและพื้นที่ใช้งานในแต่ละห้อง เป็นต้น	+	+			+
4.ช่วยแสดงขนาดและตำแหน่งของโครงสร้างอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม เปรียบเทียบกับขนาดและตำแหน่งของโครงสร้างอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่		+	+	+	
5.ช่วยให้เข้าใจผลการออกแบบและข้อจำกัดในการดำเนินงานอย่างรวดเร็ว			+	+	
6.ช่วยตัดสินในเลือกทางเลือกในการออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานราก			+	+	
7.ช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในการวางแผนและบริหารงานก่อสร้างจริง เช่น การวางแผนย้ายเครื่องทดสอบ การวางแผนขั้นตอนการก่อสร้างจริง เป็นต้น					+

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อจำกัดที่ได้รับจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุม วันที่ 27 มิถุนายน 2545 ในมุมมองของผู้ร่วมประชุม

ข้อจำกัด	เจ้าของโครงการ	สถาปนิก	วิศวกรโครงสร้าง	วิศวกรฐานราก	วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง
1.โครงสร้างที่ออกแบบใหม่และโครงสร้างที่มีอยู่เดิม มีสีที่ใกล้เคียงกัน	+	+			+
2.ไม่มีการแสดงสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร อันได้แก่ ถนนและอาคารด้านข้าง	+	+		+	+
3.ไม่สามารถเอาส่วนของเปลือกอาคาร (ผนังต่างๆ) ออก เพื่อแสดงเฉพาะส่วนของโครงสร้างได้		+	+		+
4.ไม่มีการแสดงผลในส่วนของงานฐานรากของโครงสร้างเดิม			+		
5.การแสดงข้อมูลระยะ (Dimension) ของส่วนของโครงสร้างใหม่ โครงสร้างเก่าและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม		+	+	+	+

(2) การแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้เครื่องมือในการสื่อสารอย่างอื่นเพิ่มเติม

แม้ว่าแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ร่วมงานทุกฝ่ายสามารถเข้าไปชมภาพเหมือนจริงในมุมมองที่ต้องการได้ อันส่งผลให้ทุกฝ่ายเกิดความเข้าใจที่ตรงกันได้ง่าย แต่แบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดในด้านการแสดงข้อมูลด้านระยะ (Dimension)

การดำเนินงานในช่วงของการออกแบบในโครงการที่มีความซับซ้อนจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่สามารถสื่อสารให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันได้ง่าย และสามารถให้ข้อมูลด้านระยะ เพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ เจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

นอกจากข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงในการแสดงข้อมูลด้านระยะ วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมีความเห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถแสดงรายละเอียดต่างๆ ของสถานที่ก่อสร้างจริงได้ทั้งหมด ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดข้างต้น โดยการนำแบบ 2 มิติ เพื่อแสดงข้อมูลด้านระยะ และภาพถ่ายจากสถานที่ก่อสร้างจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการติดต่อประสานงานร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริง สำหรับทดลองใช้ภายในการประชุมครั้งถัดไป

4.2.2 การประชุมรวมครั้งที่ 2 (วันที่ 1 สิงหาคม 2545)

วัตถุประสงค์ของการประชุม

จากข้อจำกัดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการติดต่อประสานงานระหว่างการประชุมรวมครั้งที่ 1 (ในหัวข้อที่ 4.2.1 ข) ทำให้การประชุมรวมครั้งแรก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างสามารถร่วมกันพิจารณาเฉพาะในส่วนของประเภทงานฐานรากเท่านั้น (เลือกเสาเข็มเจาะระบบแห้งโดยใช้เครื่องเจาะแบบสามขา) แต่ไม่สามารถร่วมกันพิจารณาทางเลือกในการออกแบบรูปแบบของงานโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักได้

การประชุมรวมในครั้งนี้เป็นการนำเครื่องมือ อันได้แก่ แบบจำลองเสมือนจริงซึ่งผ่านการปรับปรุงแก้ไขข้อจำกัดของการประชุมรวมครั้งแรก ภาพถ่ายจากสถานที่จริงและแบบสองมิติมาใช้ในรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการติดต่อประสานงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการติดต่อประสานงาน

นอกจากนี้ ในส่วนของงานสถาปัตยกรรมได้มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาช่วยสื่อสารผลจากมติการประชุมรวมในครั้งแรก เพื่อใช้สำหรับพิจารณาทางเลือกในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม อันได้แก่ (1) ตำแหน่งบันไดหนีไฟ (2) ขนาดและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคาร (3) ความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีความสูงเท่ากับ 5 เมตรซึ่งมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ตามลำดับ

การควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง

นอกเหนือจากความสามารถในการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงในการประชุมรวมครั้งแรกอันได้แก่ การเดินชม บินชมอาคารที่ออกแบบใหม่ อาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมในมุมมองที่ต้องการได้ การแสดงภาพที่ต้องการหรือไม่แสดงภาพที่ไม่ต้องการได้ การแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงเป็นการแสดงผลแบบโต้ตอบกับผู้ใช้ทันที การประชุมครั้งนี้ได้มีการ

ปรับปรุงรูปแบบการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง อันได้แก่ (1) **โครงสร้างที่ออกแบบใหม่มีสีที่แตกต่างจากโครงสร้างที่มีอยู่เดิม** (2) มีการแสดงสภาพแวดล้อม**โดยรอบอาคาร อัน**ได้แก่ ถนนและอาคารด้านข้าง (อาคารไฟฟ้า) (3) สามารถเอาส่วนของเปลือกอาคาร (ผนังต่างๆ) ออก เพื่อแสดงเฉพาะส่วนของโครงสร้างได้

รายละเอียดการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการประชุมครั้งนี้มีบางส่วนแตกต่างจากการประชุมรวมครั้งแรก ดังแสดงในภาคผนวก ข

ก.ด้านหน้าอาคาร ข.ด้านหลังอาคาร

รูปที่ 4.23 แสดงภาพรวมภายนอกอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่
(กรณีตำแหน่งบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้าง ภายในอาคาร)

ก.ด้านหน้าอาคาร ข.ด้านหลังอาคาร

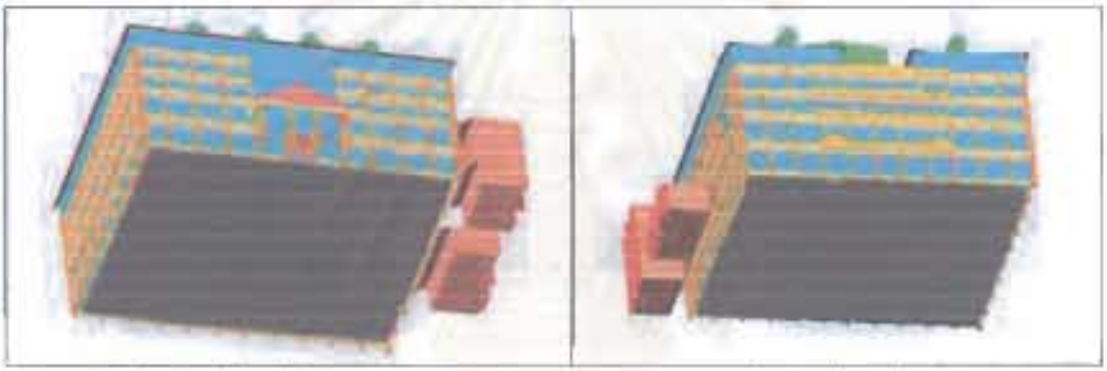
รูปที่ 4.24 แสดงภาพรวมภายนอกอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่
(กรณีตำแหน่งบันไดหนีไฟอยู่ด้านหลัง ภายในอาคาร)

ก.การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ระหว่างการติดต่อประสานงานระหว่างการประชุม (การประชุมรวมครั้งที่ 2)

(1) การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ

(1.1) ความพึงพอใจด้านความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ หรือ การตัดสินใจให้มีการแก้ไขแบบ

จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ พบว่าเจ้าของโครงการมีความพึงพอใจต่อภาพรวมของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ทั้งในด้านของความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ แต่เจ้าของโครงการต้องการเห็นภาพหลังคาของอาคารเมื่อมองจากตำแหน่งของถนนเพิ่มเติม สถาปนิกจึงมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งจำลองภาพเหมือนจริงของอาคารที่ออกแบบใหม่มาแสดงให้เจ้าของโครงการเห็นภาพในลักษณะมุมเงย เพื่อจำลองการมองของคน เมื่อมีการยืนและเงยมองอาคาร ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.25

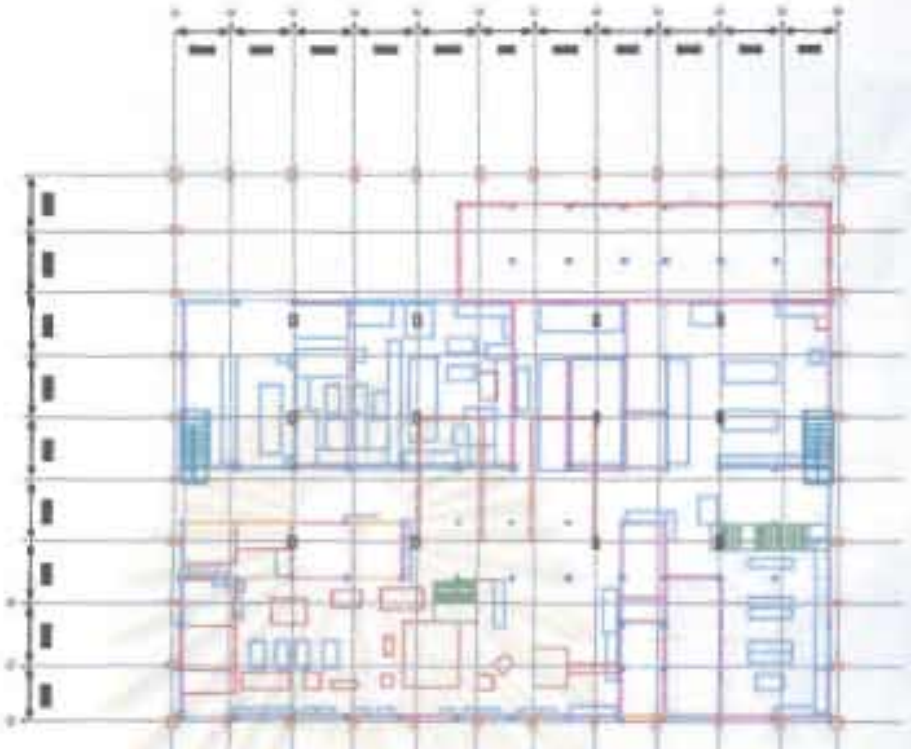


ก.รูปมุมเงยด้านหน้าอาคาร ข.รูปมุมเงยด้านหลังอาคาร

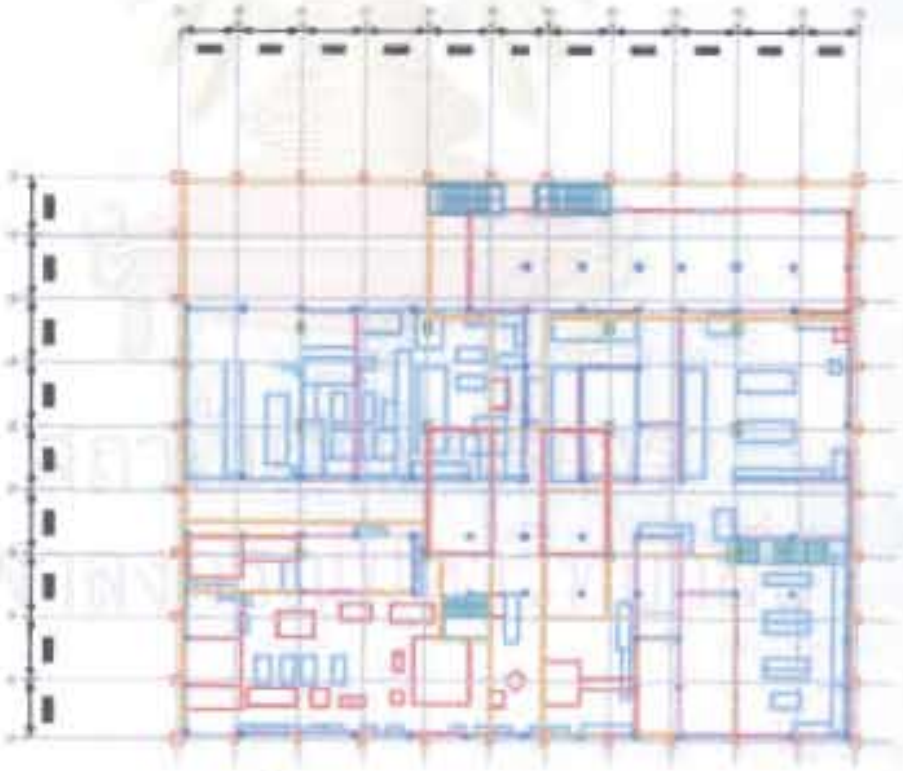
รูปที่ 4.25 แสดงภาพมุมเงยของแบบจำลองเสมือนจริง

เมื่อเจ้าของโครงการเห็นรูปแบบของหลังคาอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (จำลองการมองจากที่สูง) และรูปที่ 4.25 (จำลองการมองจากที่ต่ำ) เจ้าของโครงการมีความต้องการให้มีการแก้ไขรูปแบบของหลังคา โดยให้เอาในส่วนของรูปทรงโดมออก

ผลของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้พบว่าช่วยให้เจ้าของโครงการสามารถเห็นภาพลักษณ์ที่ชัดเจนของอาคารที่ออกแบบใหม่ ทำให้เจ้าของโครงการสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาความพึงพอใจด้านความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเจ้าของโครงการที่ไม่มีความรู้ด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม การใช้แบบ 2 มิติดังแสดงในรูปที่ 4.26 เจ้าของโครงการสามารถเห็นผลการออกแบบในขั้นตอนก่อสร้างจริง หากเกิดความไม่พอใจและต้องการปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบจำเป็นต้องแจ้งหนังสือในเปลี่ยนแปลงแบบระหว่างการก่อสร้าง อันส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่าย



(ก) แบบรูปในลักษณะ 2 มิติ (กรณีกันไฟหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร)



(ข) แบบรูปในลักษณะ 2 มิติ (กรณีกันไฟหนีไฟอยู่ด้านหลังอาคาร)

รูปที่ 4.26 แสดงการนำแบบรูปในลักษณะสองมิติมาใช้ในการแสดงข้อมูลด้านระยะของโครงสร้าง

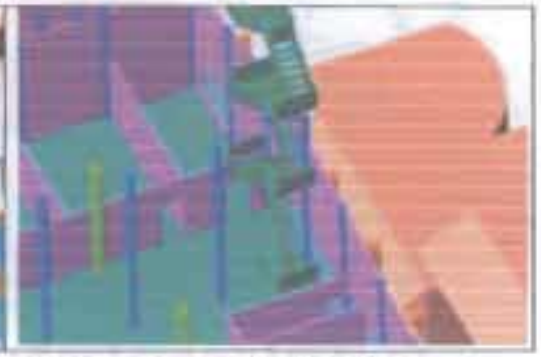
(ก) รูปอาคารและเครื่องหลอดลมเดิมชั้นที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ (กรณีบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร)

(ข) รูปอาคารและเครื่องหลอดลมเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ (กรณีบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร)

(ค) รูปแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านซ้ายอาคาร และผลกระทบต่ออาคารและเครื่องหลอดลมเดิมชั้นที่ 1

(ง) รูปแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านซ้ายอาคาร และผลกระทบต่ออาคารเดิมชั้นที่ 2

(จ) รูปแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านขวาอาคาร และผลกระทบต่ออาคารและเครื่องหลอดลมเดิมชั้นที่ 1



(ฉ) รูปแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านขวาอาคาร และผลกระทบต่ออาคารเดิมชั้นที่ 2

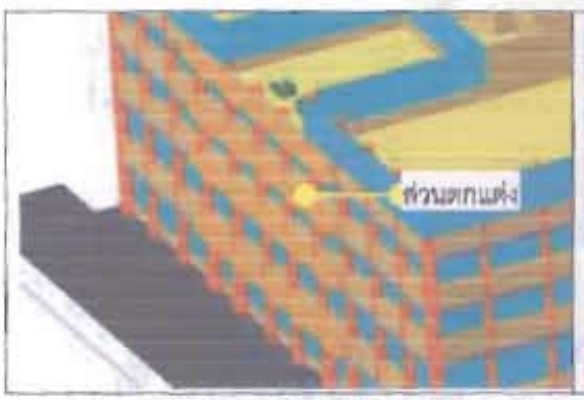
รูปที่ 4.27 แสดงภาพเหมือนจริงของอาคารในมุมมองต่างๆ (กรณีบันไดหนีไฟอยู่ด้านข้างอาคาร)

(ก).รูปอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1
เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

(ข).รูปอาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่1 และชั้นที่2
เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ได้ออกแบบใหม่

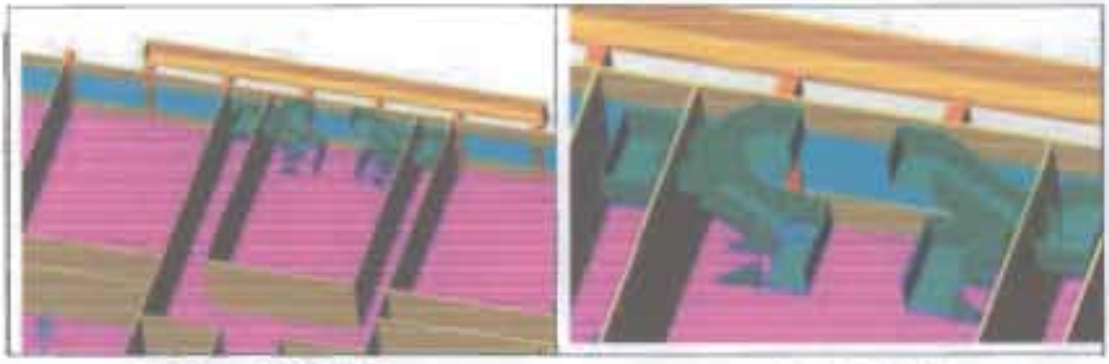
(ค).รูปขยายรูป ก.

(ง).รูปขยายรูป ข.



(จ).รูปขยายด้านหลังอาคารและส่วนตกแต่งอาคาร

(ฉ).รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประตู
ทางเข้าด้านหลัง บันไดหนีไฟและส่วนตกแต่ง

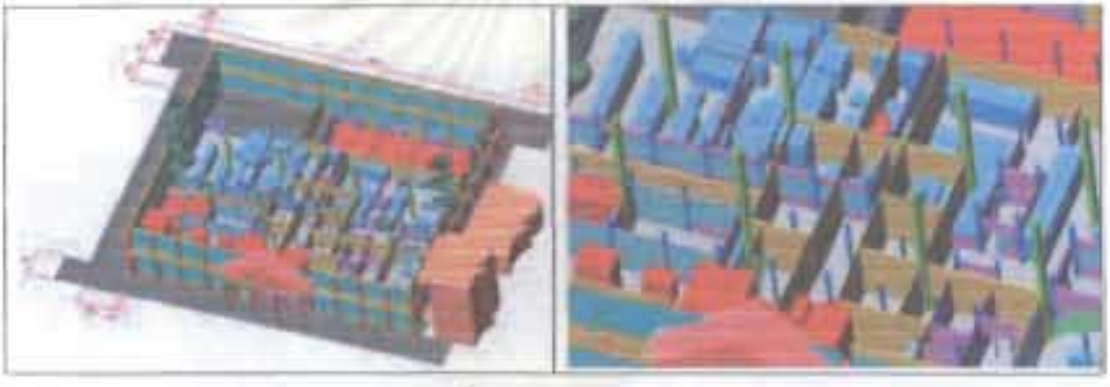


(ข).รูปขยายรูป ข

(ข).รูปขยายรูป ข

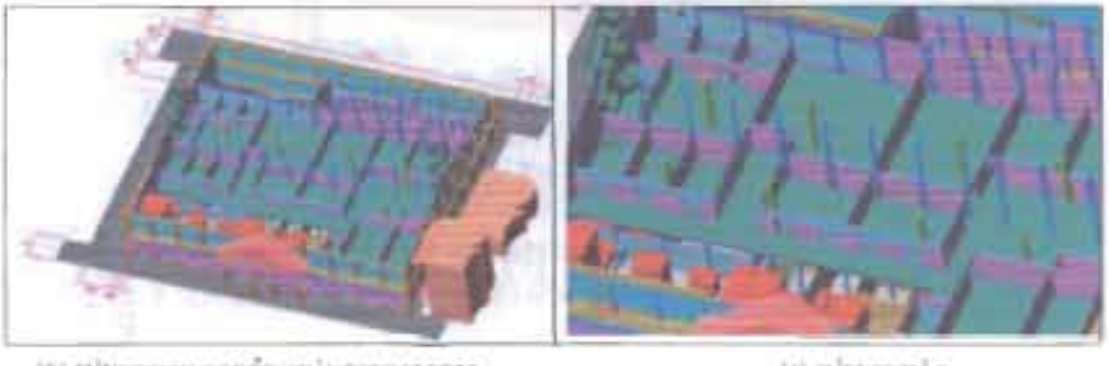
และผลกระทบต่อผนังอาคาร

รูปที่ 4.28 แสดงภาพ**เหมือนจริง**ของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ในมุมมองต่างๆ
(กรณีบันไดหนีไฟด้านหลัง)



(ก).รูปผลกระทบจากตำแหน่งเสาของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อ อาคารและเครื่องหดตลอดเดิมชั้นที่1

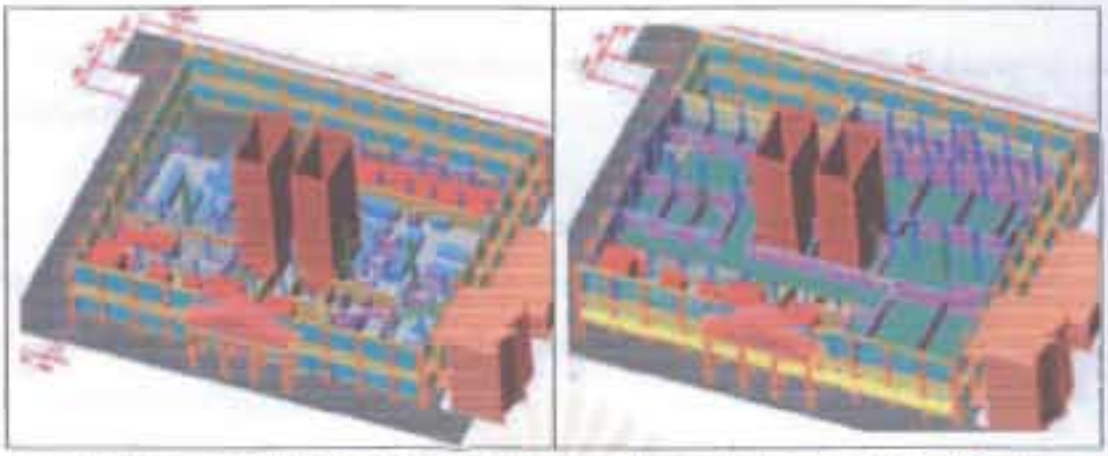
(ข).รูปขยายรูป ก



(ค).รูปผลกระทบจากตำแหน่งเสาของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อ อาคารเดิมชั้นที่ 2

(ง).รูปขยายรูป ค

รูปที่ 4.29 แสดงผลกระทบจากตำแหน่งเสา**เพื่อ**รองรับอาคารส่วนต่อขยาย (กรณีวางตำแหน่งเสาเป็นสองแถว)



(ก) รูปผลกระทบจากตำแหน่งเสาและตำแหน่งผนังลิฟต์ของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อ อาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1

(ข) รูปผลกระทบจากตำแหน่งเสาและตำแหน่งผนังลิฟต์ของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อ อาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 2

รูปที่ 4.30 แสดงผลกระทบจากตำแหน่งเสาเพื่อรองรับอาคารส่วนครอบ (กรณีวางตำแหน่งเสาแถวเดียว)

(ก) แสดงผลกระทบจากตำแหน่งลิฟต์ ต่อ เครื่องทดสอบและโครงสร้างเดิมชั้นที่ 1

(ข) แสดงผลกระทบจากตำแหน่งลิฟต์ ต่อ โครงสร้างเดิมชั้นที่ 2

รูปที่ 4.31 แสดงผลกระทบจากตำแหน่งลิฟต์ของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่ ต่อ โครงสร้างและเครื่องทดสอบเดิมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2

(2) การติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง

การพิจารณาร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง โดยใช้เครื่องมือ อันได้แก่ แบบจำลองเสมือนจริง แบบในลักษณะสองมิติและภาพถ่ายแบบดิจิตอล แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างและงานฐานราก ดังมีรายละเอียดดังนี้

(2.1) งานสถาปัตยกรรม

การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารในส่วนของงานสถาปัตยกรรมระหว่างการประชุมรวมครั้งนี้เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาแสดงข้อมูลซึ่งเป็นมติของการประชุมในครั้งแรกที่ต้องการให้มีการปรับปรุงแบบจำลองเสมือนจริงเพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลอันได้แก่ (1) ทางเลือกในการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟ (2) ขนาดและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคาร (3) ความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีความสูงเท่ากับ 5 เมตรซึ่งมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกรูปแบบของงานสถาปัตยกรรม ดังมีรายละเอียดดังนี้

(2.1.1) ด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน

ทางเลือกในการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟ – การวางตำแหน่งบันไดหนีไฟในการประชุมครั้งนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของบันไดหนีไฟซึ่งเดิมวางอยู่บริเวณด้านหลังอาคารปฏิบัติการ (วางอยู่ภายนอกตัวอาคาร) เปลี่ยนเป็นบันไดหนีไฟซึ่งซ่อนอยู่ภายในตัวอาคาร โดยนำแบบจำลองเสมือนจริงมาช่วยในการแสดงผล ซึ่งมีอยู่ 2 ทางเลือก คือ ทางเลือกแรกเป็นการแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ในอาคารบริเวณด้านข้างอาคาร (ด้านซ้ายและด้านขวา) ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.27 และทางเลือกที่สองเป็นการแสดงตำแหน่งบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ในอาคารบริเวณด้านหลังอาคาร ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงดังในรูปที่ 4.28 เมื่อผู้ร่วมประชุมเห็นรูปแบบการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟทั้งสองทางเลือก จึงมีมติเบื้องต้นให้มีการเลือกวางตำแหน่งบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ในอาคารบริเวณด้านหลังอาคาร

ขนาดและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคาร – ขนาดและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคารสำหรับการประชุมครั้งนี้เป็นการนำมติจากการประชุมในครั้งแรกมาสร้างเป็นแบบ

จำลองเสมือนจริงเพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถเห็นภาพลักษณ์ที่ชัดเจน โดยมีประตูด้านหลัง 2 ประตู ประตูฝั่งที่ติดกับอุโมงค์ลมเป็นประตูที่สร้างขึ้นเพื่อความสวยงาม ส่วนประตูอีกด้านเป็นประตูที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเส้นทางในการจราจรเข้าอาคารปฏิบัติการที่ได้ออกแบบใหม่ ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.28 (ฉ)

เมื่อผู้ร่วมประชุมเห็นแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.28 (ฉ) พบว่ามีความพึงพอใจและมีมติให้ออกแบบขนาดประตูด้านหลังอาคารออกเป็น 2 ประตูตามที่ได้แสดงในแบบจำลองเสมือนจริง

ความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 สูงมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5

การพิจารณารูปแบบของอาคารเมื่อความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 สูงมีความสูงระหว่างชั้นเท่ากับ 5 เมตรซึ่งมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ที่มีความสูงระหว่างชั้นเท่ากับ 4 เมตร เป็นเรื่องที่มีความสำคัญเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ออกแบบใหม่ การพิจารณาไม่สามารถทำได้ชัดเจนหากไม่มีการใช้เครื่องมือที่สามารถแสดงภาพที่เหมือนจริง ซึ่งสามารถแสดงให้ผู้ร่วมประชุมสามารถเห็นภาพรวมของอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่ก่อนการก่อสร้างจริงในมุมมองต่างๆ ผลจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.24 พบว่าผู้ร่วมประชุมมีความเห็นตรงกันว่าความสูงที่แตกต่างกันของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 กับชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ไม่ได้ลดความสวยงามของอาคารที่ออกแบบใหม่

(2.1.2) **ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)**

การพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ของการออกแบบงานสถาปัตยกรรมมีรายละเอียดดังนี้

เนื่องจากประตูด้านหลังอาคารที่ได้ทำการออกแบบใหม่อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีการซ้อนทับกับตำแหน่งของโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม ทำให้การดำเนินการก่อสร้างจริงในส่วนนี้สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกับการก่อสร้างในโครงการทั่วไป

การพิจารณาความสามาถก่อสร้างได้ของการออกแบบบันไดหนีไฟแบบซ่อนอยู่ภายในอาคารไว้ด้านหลังอาคาร จากการพิจารณาแบบจำลองเสมือนจริงดังรูป 4.28 สามารถช่วยให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถทราบผลกระทบต่อโครงสร้างของอาคารที่มีอยู่เดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (ค) และ (ง) นอกจากนี้ยังช่วยให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งบันไดหนีไฟที่มีต่อการจัดห้องในชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (ช) และ (ซ)

(2.1.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่น ๆ**

การพิจารณาทางเลือกในการออกแบบในส่วนของงานสถาปัตยกรรม อันได้แก่ (1) ทางเลือกในการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟ (2) ขนาดและตำแหน่งของประตูด้านหลังอาคาร (3) ความสูงที่แตกต่างกันของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ซึ่งมีความสูงมากกว่าชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของวิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างไม่มากนัก เนื่องจากเป็นประเด็นที่ไม่ได้เปลี่ยนรูปแบบโดยรวมของการออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานราก

(2.2) **งานโครงสร้าง**

เนื่องจากการประชุมรวมในครั้งแรกไม่สามารถหาบทสรุปเกี่ยวกับประเภทของรูปแบบงานโครงสร้างได้ ดังนั้นในการประชุมรวมครั้งนี้จึงมุ่งเน้นด้านการพิจารณาร่วมกันเพื่อเลือกประเภทของโครงสร้างสำหรับใช้ในการออกแบบงานโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

(2.2.1) **ด้านทางเลือกในการออกแบบ ด้านความสวยงามและด้านขนาดพื้นที่ใช้งาน**

การพิจารณาทางเลือกในออกแบบงานโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักเป็นการพิจารณาโครงสร้างของอาคารอันได้แก่ เสา คานและพื้น จากผลการประชุมรวมในครั้งแรกได้มีการตัดสินใจเลือกประเภทของพื้น (เลือกใช้พื้นประเภทพื้นสำเร็จซึ่งมีความยาวช่วงละ 4.5 เมตร) แต่ไม่ได้ตัดสินใจเลือกประเภทของเสาและคาน เนื่องจากหากมีการเลือกประเภทของเสาและคานอย่างไม่เหมาะสม ขณะก่อสร้างจริงอาจไม่สามารถก่อสร้างได้ หรือ ก่อสร้างจริงสามารถทำได้ยาก หรืออาจส่งผลกระทบอย่างมากต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน อันส่งผลต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายโดยรวมของโครงการได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกประเภทของเสาและคานจำเป็นต้องมีการพิจารณาร่วมกันอย่างรอบคอบ เนื่องจากทางเลือกในการออกแบบมีหลายทางเลือก แต่ละทางเลือกส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดไม่เหมือนกัน เช่น ความยาวคาน ตำแหน่งเสา วิธีและขั้นตอนการก่อสร้าง เพื่อให้การออกแบบงานโครงสร้างมีความสอดคล้องกับการออกแบบงานฐานราก โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความสามารถในการก่อสร้าง ความยากง่ายในการก่อสร้างภายใต้ข้อจำกัดในการดำเนินงาน ขนาดพื้นที่ใช้งาน ความสวยงาม เป็นต้น

ในการประชุมครั้งนี้มุ่งเน้นการพิจารณาประเภทของงานโครงสร้างในส่วนของเสาและคาน ดังมีรายละเอียดดังนี้

เสาและคาน

การประชุมรวมในครั้งนี้เป็นการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบประเภทของโครงสร้าง สามารถสรุปเป็น 3 ทางเลือก คือ (1) ทางเลือกแรกเป็นการวางตำแหน่งเสาออกเป็นสองแถว โดยใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Transfer Beam (2) ทางเลือกที่สองเป็นการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว โดยใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Transfer Beam และ (3) ทางเลือกที่สองเป็นการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว โดยใช้โครงสร้างเหล็กประเภท Vierendeel โดยทางเลือกที่ (1) และทางเลือกที่ (2) เป็นการพิจารณาตำแหน่งเสาโดยใช้คานแบบ Transfer Beam เนื่องจากผลการประชุมรวมในครั้งแรกซึ่งมีข้อสรุปให้เลือกใช้คานแบบ Transfer Beam (รองรับพื้นชั้น 3) แทนการใช้รูปแบบโครงสร้างที่มีแนวเสาและคานเหมือนกันทุกชั้น

- ทางเลือกแรกเป็นการวางตำแหน่งเสาออกเป็นสองแถว โดยใช้คานแบบ Transfer Beam (เสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก)

ทางเลือกนี้มีข้อดี คือ สามารถออกแบบขนาดเสาและหน้าตัดคานให้มีขนาดเล็กเนื่องจากมีจำนวนเสามาก และระยะห่างระหว่างเสาถึงเสาน้อยดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.29 อันส่งผลให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มความสูงระหว่างชั้นให้มีความสูงเพิ่มขึ้นน้อยกว่าทางเลือกที่สอง (ทำให้เกิดความสวยงามทางสถาปัตยกรรมมากกว่า) ตำแหน่งเสาไม่ส่งผลกระทบต่อเส้นทางการขนส่งวัสดุเข้าอาคารปฏิบัติการ

แต่มีข้อเสีย คือ โครงสร้างที่ได้ทำการออกแบบใหม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างชั้นหนึ่งและชั้นสองมาก เนื่องจากการก่อสร้างจริงมีความจำเป็นต้องทำลายโครงสร้างพื้น คานและเสาเดิมบางส่วนตามตำแหน่งเสาใหม่ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมมากกว่าทางเลือกที่สอง มีความจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบเนื่องจากความต้องการใช้พื้นที่สำหรับส่วนของงานโครงสร้างและงานฐานรากใหม่ และพื้นที่สำหรับการทำงานระหว่างการก่อสร้าง เช่น การสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจำเป็นต้องใช้พื้นที่สำหรับการประกอบแบบเสา พื้นที่สำหรับลำเลียงคอนกรีตเข้าไปเท นอกจากนี้การสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับวางนั่งร้านเพื่อรองรับน้ำหนักคานขณะก่อสร้าง ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน ทำให้เกิดความยุ่งยากในการก่อสร้างจริง อันส่งผลให้ทางเลือกนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการดำเนินงานภายในกรณีศึกษา

-ทางเลือกที่สองเป็นการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว โดยใช้คานแบบ Transfer Beam (ใช้เสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก)

ในทางเลือกนี้มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างจากทางเลือกแรก โดยมีข้อดี คือ โครงสร้างที่ได้ออกแบบใหม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างชั้นหนึ่งและชั้นสองน้อย เนื่องจากมีความจำเป็นต้อง

ทำลายโครงสร้างพื้น คานและเสาเดิมบางส่วนน้อยกว่าทางเลือกแรก เนื่องจากตำแหน่งเสาน้อยกว่า รวมทั้งส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบและการใช้งานพื้นที่ เช่น การทดสอบวัสดุ การเรียนการสอน เป็นต้น ขณะก่อสร้างน้อย ทำให้การพิจารณาวางแผนก่อสร้างจริงสามารถทำได้ง่ายกว่าทางเลือกแรก

แต่มีข้อเสีย คือ ตำแหน่งเสายังส่งผลกระทบต่อเส้นทางการขนส่งวัสดุเข้าอาคารปฏิบัติการ นอกจากนี้มีความจำเป็นต้องออกแบบขนาดเสาและหน้าตัดคานขนาดใหญ่อันส่งผลให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มความสูงระหว่างชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ให้มีความสูงเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้งานระหว่างชั้น ซึ่งอาจส่งผลต่อความสวยงามทางสถาปัตยกรรม

นอกจากนี้ในขั้นตอนการก่อสร้างเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็กจำเป็นต้องใช้พื้นที่สำหรับการทำงานในลักษณะเดียวกับทางเลือกแรก คือ จำเป็นต้องใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งแบบเสา และพื้นที่สำหรับวางนั่งร้านที่มีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักคานและแบบของคาน ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน ทำให้เกิดความยุ่งยากในการก่อสร้างจริง อันส่งผลให้ทางเลือกนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ภายในกรณีศึกษา

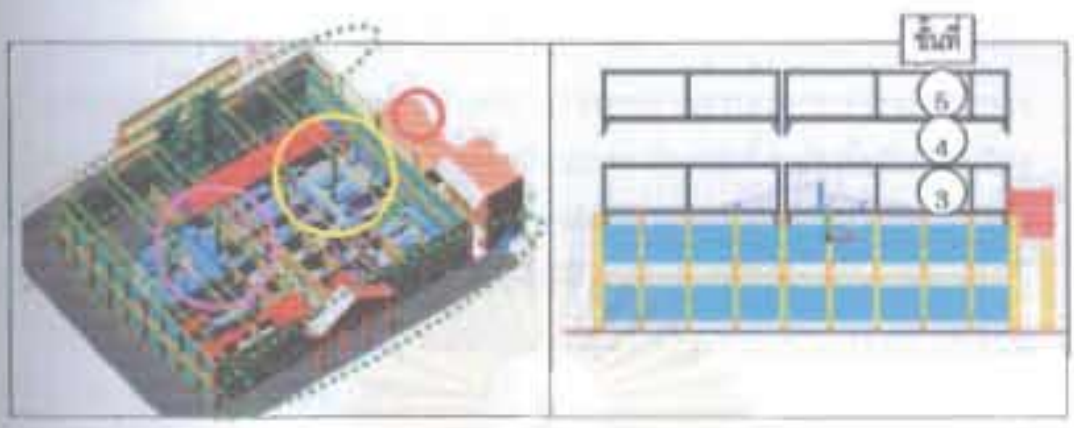
-ทางเลือกที่สามเป็นการวางตำแหน่งเสาในแนวกลางเพียงแถวเดียว โดยใช้โครงสร้างเหล็กประเภท Vierendeel

จากความยุ่งยากและผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานในระหว่างการก่อสร้างจากการใช้โครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ทางเลือกในการออกแบบประเภทของโครงสร้างในทางเลือกที่ (1) และทางเลือกที่ (2) ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในกรณีศึกษา วิศวกรโครงสร้างจึงเสนอให้มีการใช้โครงสร้างเหล็กประเภท Vierendeel ร่วมกับการใช้เสาเหล็กแทนการใช้โครงสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งการก่อสร้างโครงสร้างประเภทนี้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อยกว่าทางเลือกที่ (1) และทางเลือกที่ (2) เนื่องจากในขั้นตอนก่อสร้างสามารถประกอบเป็นโครงเหล็กและยกขึ้นติดตั้งได้ อันส่งผลให้โครงสร้างประเภทนี้สามารถก่อสร้างได้ง่ายและสะดวกมากกว่าโครงสร้างที่เสาและคานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมทั้งมีจำนวนเสาในแนวกลางน้อย และวางในตำแหน่งที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเส้นทางการจราจร (วงกลมสีแดง) ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 4.32 (ค)

นอกจากนี้การใช้โครงสร้างประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องมีการใช้ Lift Core เพื่อรับน้ำหนักโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างประเภทนี้สามารถก่อสร้างได้ง่ายและสะดวกมากกว่าการสร้าง Lift Core

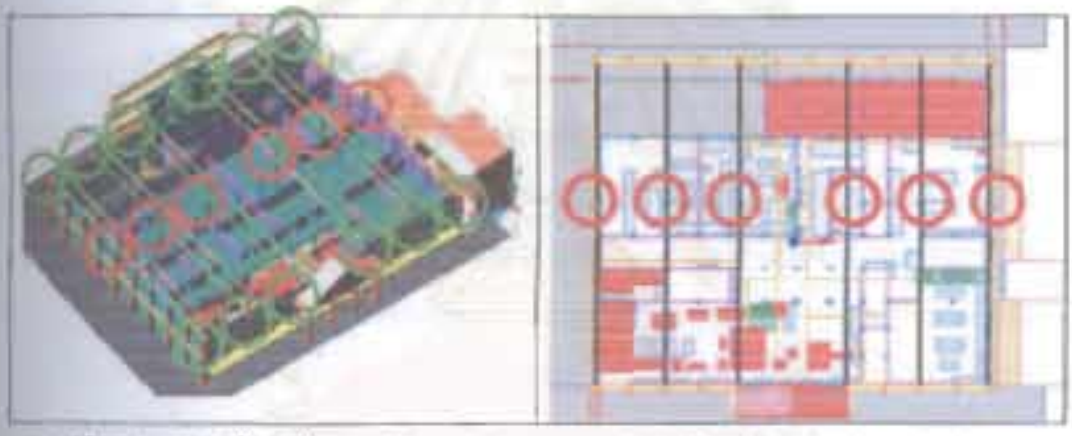
อย่างไรก็ตาม โครงสร้างประเภทนี้ส่งผลต่อการออกแบบขนาดห้อง ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.32 (ข) โดยขนาดห้องภายในชั้นที่ 3 และชั้นที่ 5 ถูกจำกัดในมีขนาด

กว้างไม่เกิน 9 เมตร หากมีขนาดห้องใหญ่กว่านี้ภายในห้องจะมีเสาวางอยู่กลางห้อง แต่ในส่วนของชั้นที่ 4 สามารถออกแบบห้องให้มีขนาดใหญ่ได้



(ก) รูปโครงสร้างแบบ Vierendeel และลักษณะทั่วไปของโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม

(ข) รูปโครงสร้างแบบ Vierendeel ในมุมมองแบบ 2 มิติ (ด้านข้าง)



(ค) รูปตำแหน่งเสาของโครงสร้างแบบ Vierendeel ในมุมมองแบบ 3 มิติ

(ง) รูปโครงสร้างแบบ Vierendeel ในมุมมองแบบ 2 มิติ (ด้านบน)

รูปที่ 4.32 แสดงรูปแบบโครงสร้างแบบ Vierendeel

จากประโยชน์ของโครงสร้างเหล็กประเภท Vierendeel ทำให้ที่ประชุมมีมติเลือกใช้โครงสร้างประเภทนี้ โดยในการออกแบบคานย่อยของวิศวกรโครงสร้างเป็นการออกแบบให้คานย่อยมีระยะห่างสอดคล้องกับช่วงความยาวของพื้นสำเร็จ ซึ่งมีความยาวช่วงละ 4.5 เมตร (ซึ่งเป็นมติของการประชุมร่วมในครั้งแรกที่ต้องการให้การก่อสร้างพื้นสามารถทำได้ง่ายและส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการทำงาน)

(2.2.2) ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)

การพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น) ในส่วนของงานโครงสร้างเมื่อมีการนำโครงสร้างเหล็กประเภท Vierendeel มาก่อสร้างจริง (ยกโครงสร้างเสาและคานเหล็กมาประกอบติดตั้ง) โดยแบ่งการพิจารณาตามพื้นที่ทำงาน ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นพื้นที่บริเวณที่ติดกับถนนทั้งสามด้าน กลุ่มที่ 2 เป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมฐานราก กลุ่มที่ 3 เป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมขนส่ง และกลุ่มที่ 4 เป็นพื้นที่ด้านข้างอาคารไฟฟ้า

ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งติดอยู่กับแนวถนนดังรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นประสีเขียว) วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างเห็นว่าสามารถใช้พื้นที่ถนนสำหรับวางเครื่องจักรระหว่างการยกโครงสร้างเสา (เสาเหล็ก) และ Frame ของโครงสร้าง Vierendeel ขึ้นติดตั้งได้

อย่างไรก็ตาม ในส่วนของกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมฐานรากดังรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นสีชมพู) กลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมขนส่งดังรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นสีเหลือง) และกลุ่มที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่ด้านข้างอาคารไฟฟ้าดังรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นสีแดง) ในงานวิจัยไม่ได้มีการพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ในประเด็นการยกโครงสร้างเสา (เสาเหล็ก) และ Frame ของโครงสร้าง Vierendeel ขึ้นติดตั้ง เนื่องจากในขั้นนี้ยังไม่ได้มีการออกแบบขนาดของโครงสร้าง Vierendeel ที่ชัดเจน ทำให้วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้างเสา (เสาเหล็ก) และ Frame ของโครงสร้าง Vierendeel ที่ต้องการยกขึ้นติดตั้ง อันส่งผลให้วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างขาดข้อมูลสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างระยะแขนของ Tower Crane และน้ำหนักบรรทุก กับระยะในการทำงานจริง (ระยะห่างระหว่างจุดที่มีการวาง Tower Crane และจุดที่ต้องการติดตั้งโครงสร้าง Vierendeel) และน้ำหนักของโครงสร้าง Vierendeel ที่ต้องการติดตั้ง

ในกรณี Tower Crane (ที่สามารถเลือกใช้ได้ในประเทศไทย) ไม่สามารถวางในบริเวณถนนและสามารถยกโครงสร้าง Vierendeel เข้าไปติดตั้งในส่วนของพื้นที่ในกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 หรือกลุ่มที่ 4 ได้ เมื่อถึงขั้นนั้นอาจมีการพิจารณารื้อโครงสร้างหรือเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมบางส่วนออก เพื่อใช้วาง Tower Crane ให้สามารถทำงานได้ ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวสามารถนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ รวมไปถึงผลกระทบต่อเครื่องทดสอบและโครงสร้างที่มีอยู่เดิมอย่างมีประสิทธิภาพ

(2.2.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่น ๆ**

จากการพิจารณาเลือกใช้โครงสร้างแบบ Vierendeel ส่งผลกระทบต่องานสถาปัตยกรรมและงานฐานราก ในส่วนของงานสถาปัตยกรรมการเลือกใช้โครงสร้างแบบ Vierendeel ซึ่งมีตำแหน่งเสาในชั้นที่ 3 และชั้นที่ 5 ทุกๆ ช่วงละ 9 เมตร (รูปที่ 4.32) ทำให้ส่งผลกระทบต่อการออกแบบขนาดพื้นที่ใช้งานในแต่ละห้อง ซึ่งกำหนดให้แต่ละห้องมีความกว้างไม่เกิน 9 เมตร หากขนาดห้องมีขนาดใหญ่กว่านี้ภายในห้องนั้นจะมีเสาอยู่กลางห้อง อย่างไรก็ตามในชั้นที่ 4 ซึ่งเป็นชั้นที่มีจำนวนเสาน้อย (มีเฉพาะเสาหลักในแนวที่รับโครงแบบ Vierendeel เท่านั้น) ทำให้สถาปนิกสามารถออกแบบขนาดห้องให้มีขนาดใหญ่ได้

ในส่วนของงานฐานราก โครงสร้างประเภท Vierendeel ส่งผลกระทบต่อการออกแบบขนาดฐานรากในแนวกลาง ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.32 ก.(วงกลมสีแดง) เนื่องจากฐานรากในแนวนี้มีการถ่ายน้ำหนักจากส่วนของโครงสร้างมาก ทำให้มีความจำเป็นต้องออกแบบฐานรากขนาดใหญ่ อันส่งผลให้การก่อสร้างฐานรากจริงทำได้ยาก เนื่องจากจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม รวมทั้งจำเป็นต้องรื้อถอนอาคารเดิมบางส่วน เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการก่อสร้างฐานรากซึ่งมีขนาดใหญ่

(2.3) **งานฐานราก**

(2.3.1) **ด้านทางเลือกในการออกแบบ**

จากผลการประชุมรวมในครั้งแรกที่มีการตัดสินใจเลือกใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้งโดยใช้เครื่องเจาะแบบสามขา ในการประชุมรวมครั้งนี้จึงไม่ได้มีการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบในส่วนของงานฐานราก

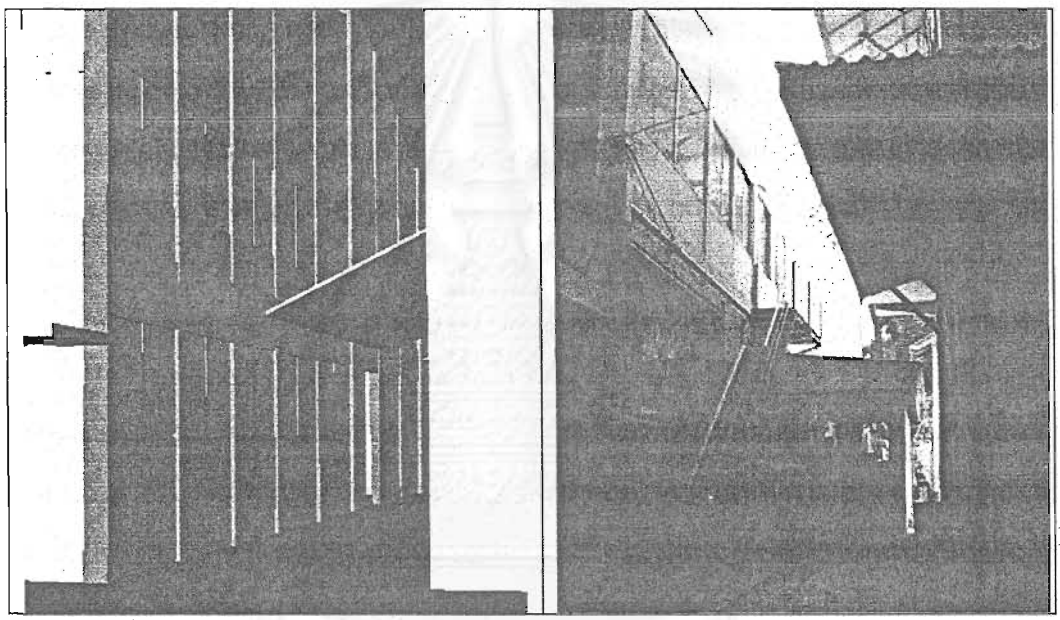
(2.3.2) **ด้านความสามารถก่อสร้างได้ (เบื้องต้น)**

เนื่องจากการประชุมรวมครั้งนี้อยู่ในขั้นเริ่มพิจารณาเลือกประเภทและรูปแบบของโครงสร้างและยังไม่มีการคำนวณน้ำหนักที่ถ่ายลงบนฐานรากในแต่ละฐานราก ทำให้วิศวกรฐานรากไม่สามารถออกแบบขนาดฐานรากที่ชัดเจนได้ อันส่งผลให้ไม่สามารถพิจารณาความสามารถในการก่อสร้างฐานรากได้ทุกฐานราก

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการพิจารณาความสามารถในการก่อสร้างได้ในส่วนของงานฐานรากออกเป็น 4 กลุ่มตามพื้นที่ในการทำงาน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการพิจารณาความสามารถใน

การก่อสร้างได้ในส่วนของงานโครงสร้าง คือ กลุ่มที่ 1 เป็นพื้นที่บริเวณที่ติดกับถนนทั้งสามด้าน กลุ่มที่ 2 เป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมฐานราก กลุ่มที่ 3 เป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมขนส่ง และกลุ่มที่ 4 เป็นพื้นที่ด้านข้างอาคารไฟฟ้า ดังแสดงในแบบจำลองเสมือนจริงในรูปที่ 4.32 (ก)

ในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งติดอยู่กับแนวถนนดังรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นประสีเขียว) วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างเห็นว่าการออกแบบและก่อสร้างฐานรากจริงในบริเวณนี้สามารถก่อสร้างได้ เนื่องจากสามารถวางเครื่องเจาะแบบสามขาบนถนนได้ ทำให้การทำงานส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมน้อย



(ก).แบบจำลองเสมือนจริง (ข).ภาพถ่าย

รูปที่ 4.33 พื้นที่ระหว่างอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรมและอาคารไฟฟ้า

แม้ว่าในขั้นนี้ยังไม่ทราบขนาดฐานรากที่มีความชัดเจนทำให้ไม่สามารถพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ในกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 อย่างชัดเจนได้ แต่ในเบื้องต้นผลจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถนำมาใช้พิจารณาความสามารถในการก่อสร้างได้เบื้องต้น คือ ทำให้วิศวกรทราบพื้นที่สำหรับใช้ในการดำเนินงานดังนี้

กลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมฐานราก จากแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นประสีชมพู) ช่วยให้ผู้ร่วมประชุมสามารถเห็นตำแหน่งของโครงสร้างและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิม เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีเครื่องทดสอบเดิมอยู่เป็นจำนวนมาก

ทำให้การก่อสร้างจริงจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบ เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการก่อสร้างฐานราก

กลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่ห้องปฏิบัติการของวิศวกรรมขนส่ง จากแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นประสีเหลือง) ทำให้ผู้ร่วมประชุมทราบว่าพื้นที่ส่วนนี้มีเครื่องทดสอบอยู่น้อยและเป็นเครื่องทดสอบที่สามารถย้ายเคลื่อนย้ายได้ง่าย จากเหตุผลดังกล่าวทำให้วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างเห็นว่าพื้นที่ส่วนนี้สามารถก่อสร้างฐานรากจริงได้ง่าย

กลุ่มที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่ด้านข้างอาคารไฟฟ้าจากแบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.32 (ก) (บริเวณเส้นประสีแดง) ในขั้นนี้ไม่สามารถพิจารณาเรื่องความสามารถก่อสร้างฐานรากจริงได้ เนื่องจากยังไม่ทราบขนาดของฐานรากที่ชัดเจน ทำให้ในขั้นนี้วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างไม่สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างฐานรากที่มีอยู่เดิมและฐานรากใหม่ รวมทั้งวางแผนการก่อสร้างจริงภายในพื้นที่ด้านข้างอาคารไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.33

(2.3.3) **ด้านผลกระทบที่มีต่อฝ่ายอื่น ๆ**

เนื่องจากในขั้นนี้วิศวกรฐานรากยังไม่สามารถออกแบบจำนวนเสาเข็มและขนาดฐานรากได้ ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างฐานรากใหม่และฐานรากเดิม รวมทั้งความสามารถก่อสร้างได้ อันส่งผลให้ไม่สามารถทราบผลกระทบของงานฐานรากต่องานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรมและการวางแผนก่อสร้างจริงได้

ในกรณีที่ขนาดฐานรากที่ออกแบบใหม่มีการซ้อนทับตำแหน่งกับฐานรากที่มีอยู่เดิมและไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับก่อสร้างจริงได้ เมื่อถึงขั้นนั้นอาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเสา อันส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานในส่วนของงานสถาปัตยกรรมและงานโครงสร้างซึ่งต้องมีการปรับแก้ให้สอดคล้องกับการพิจารณาออกแบบงานฐานราก

ข.สรุปประโยชน์และข้อจำกัดจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ (วันที่ 1 สิงหาคม 2545)

การประชุมรวมครั้งแรกแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดซึ่งแบ่งออกเป็นข้อจำกัดที่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง และข้อจำกัดที่แบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถนำมาใช้ในการแสดงผลได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการนำ

เครื่องมืออย่างอื่นมาช่วยในการติดต่อประสานงานเพิ่มเติม อันได้แก่ แบบ 2 มิติเพื่อแสดงข้อมูลด้านระยะ และภาพถ่ายสถานที่จริงแบบดิจิตอล

ดังนั้นการติดต่อสื่อสารในการประชุมรวมครั้งนี้เป็นการศึกษาประโยชน์และข้อจำกัดจากการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานในการสื่อสารอันได้แก่ แบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่ายสถานที่จริงแบบดิจิตอล ซึ่งสามารถนำมาช่วยตรวจสอบความถูกต้องของแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดของการใช้เครื่องมือซึ่งได้นำเสนอหลังจากการประชุมรวมครั้งแรก

ผลจากการนำมาระหว่างการติดต่อประสานงานกับเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง พบว่า การใช้เครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยให้การติดต่อประสานงานได้รับประโยชน์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 รวมทั้งประโยชน์ที่ได้รับจากการแก้ไขข้อจำกัดในตารางที่ 4.2 ซึ่งทำให้ทุกฝ่ายสามารถได้รับข้อมูลอย่างเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการดำเนินงานร่วมกัน อันส่งผลให้การใช้รูปแบบเครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบได้เป็นอย่างมาก

4.3 สรุปผลการดำเนินงานในกรณีศึกษา

แม้ว่าการดำเนินงานจริงในกรณีศึกษาที่แสดงงานวิจัยนี้ยังมีผลการออกแบบที่ไม่เสร็จสมบูรณ์ โดยผ่านขั้นตอนการพิจารณาเลือกรูปแบบอาคารทางสถาปัตยกรรม การพิจารณาเลือกประเภทของงานโครงสร้าง (โครงสร้างเหล็กแบบ Vierendeel และใช้พื้นสำเร็จ) ประเภทของงานฐานราก (ใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง โดยใช้เครื่องเจาะแบบสามขา) แต่จากผลที่ได้รับจากการทดลองประยุกต์ใช้เครื่องมือเฉพาะส่วนของแบบจำลองเสมือนจริง หรือรูปแบบการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานสามารถแสดงให้เห็นแนวทางในการนำเครื่องมือดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างการดำเนินงานจริงในช่วงการออกแบบได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวิเคราะห์เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสาน

ในบทนี้เป็นการแสดงถึงความสามารถของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องในการดำเนินงานในช่วงออกแบบของโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการทำงานมาก ซึ่งไม่สามารถใช้แบบ 2 มิติเป็นเครื่องมือเพียงชนิดเดียวในการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพได้

ก่อนการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ในกรณีศึกษาที่มีความซับซ้อน งานวิจัยนี้คาดว่าแบบจำลองเสมือนจริงน่าจะเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถอย่างเพียงพอต่อการนำมาใช้ในการดำเนินงานของสถาปนิกและการสื่อสารข้อมูลระหว่างการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบระหว่างเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานราก และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง ดังนั้นการประชุมรวมครั้งแรกจึงมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือเพียงชนิดเดียวสำหรับสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงาน แต่จากผลลัพธ์ที่ได้จากการประชุมครั้งแรกแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงมีทั้งประโยชน์และข้อจำกัดซึ่งประกอบด้วยข้อจำกัดที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้และข้อจำกัดที่ไม่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ และได้นำผลจากการพัฒนาปรับปรุงข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการประชุมรวมครั้งที่สอง ซึ่งงานวิจัยนี้เรียกว่าการใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน (แบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่ายจากสถานที่จริง) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.2

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนอันได้แก่ (1) ความสามารถในการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือสำหรับดำเนินงานในช่วงออกแบบ (2) ความสามารถในการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานสำหรับดำเนินงานในช่วงออกแบบ (3) ระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการนำแบบ 2 มิติ แบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสานมาประยุกต์ใช้งานจริง และ (4) ข้อเสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือ ดังมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ความสามารถในการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือสำหรับดำเนินงานในช่วงออกแบบ

จากผลการศึกษาที่ได้รับจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในโครงการที่มีความซับซ้อนแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการติดต่อประสานงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ร่วมงานหลายๆ ฝ่าย เพราะการใช้แบบจำลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้ร่วมงานสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้ง่ายขึ้นและ

สามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ของแต่ละทางเลือกดังแสดงในตัวอย่างที่พบจากการดำเนินงานในกรณีศึกษา เช่น เมื่อวิศวกรโครงสร้างเสนอทางเลือกให้มีการใช้คานของพื้นชั้นที่ 3 เป็นคานแบบ Transfer Beam ทำให้ผู้ร่วมประชุมสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติ ไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ (รูปที่ 5.1) อันได้แก่

สถาปนิกมีความเห็นว่าการใช้คานแบบ Transfer Beam ทำให้คานในชั้นที่ 3 มีขนาดใหญ่ อันส่งผลให้พื้นที่ใช้งานระหว่างชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีพื้นที่ใช้งานน้อยลง สถาปนิกมีความเห็นว่าควรมีการเพิ่มความสูงระหว่างชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้งานระหว่างชั้นให้มีความเหมะสมกับการใช้งานจริงตามวัตถุประสงค์ของเจ้าของโครงการ แต่การเพิ่มความสูงของชั้นอาจส่งผลกระทบต่อความสวยงามของอาคารที่ออกแบบใหม่ได้ เนื่องจากความสูงของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีความสูงไม่เท่ากับชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 ซึ่งจำเป็นต้องมีนำผลการปรับปรุงแบบไปติดต่อประสานงานกับเจ้าของโครงการ เพื่อให้เจ้าของโครงการพิจารณาความพึงพอใจด้านความสวยงามและพื้นที่ใช้งานของอาคารที่ออกแบบใหม่ หากเจ้าของโครงการไม่พึงพอใจผลการปรับปรุงแบบ การติดต่อประสานงานจำเป็นต้องมีการพิจารณาทางเลือกใหม่ทั้งหมด

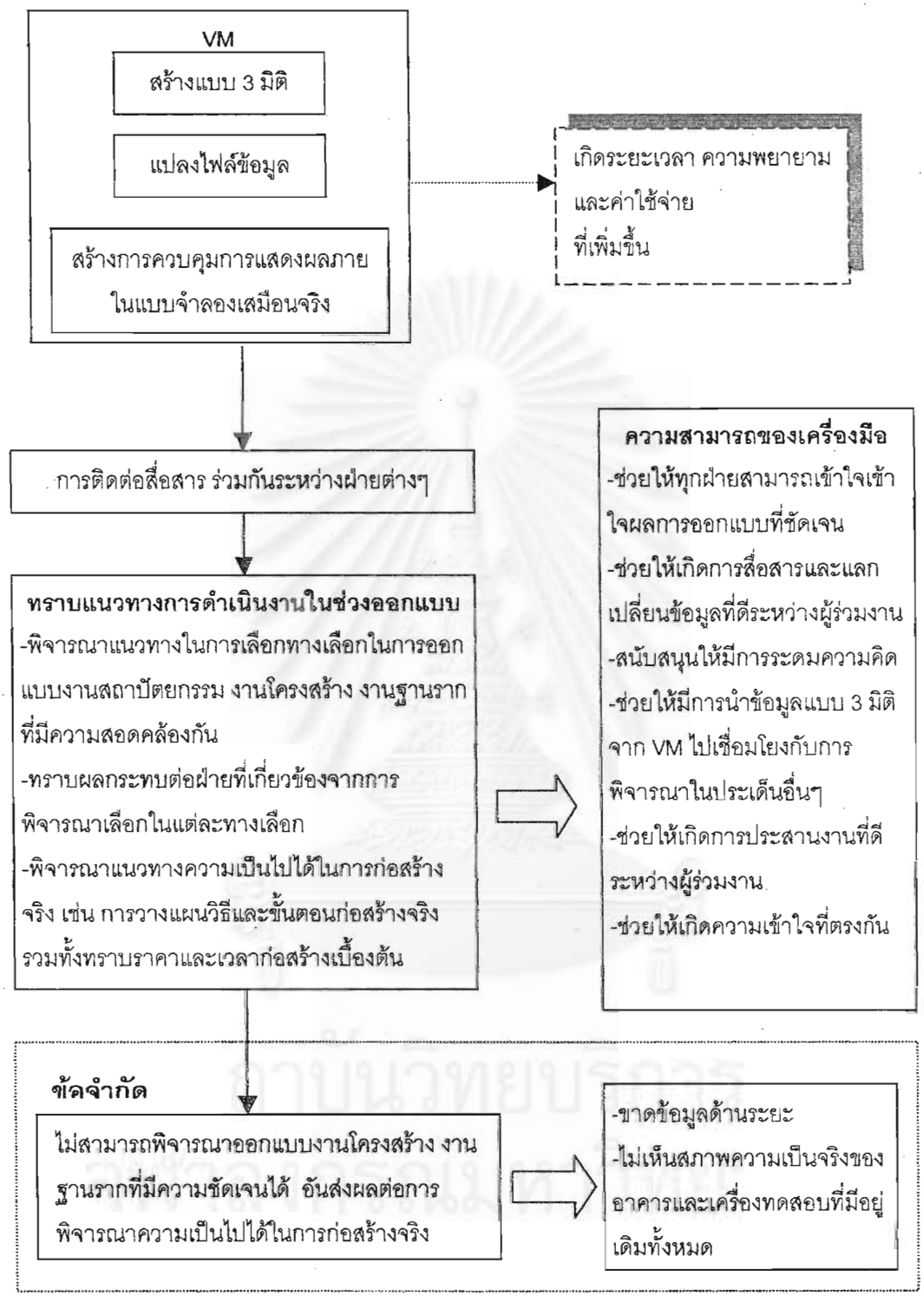
วิศวกรฐานรากมีความเห็นว่าควรมีการพิจารณาการใช้คานแบบ Transfer Beam ร่วมกับการเลือกตำแหน่งของเสา เนื่องจากส่งผลต่อการออกแบบขนาดฐานรากและการพิจารณาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างฐานรากจริงของทางเลือกนี้ หากผลการพิจารณาพบว่าทางเลือกนี้ไม่สามารถก่อสร้างฐานรากจริงได้ การติดต่อประสานงานจำเป็นต้องมีการพิจารณาทางเลือกใหม่ทั้งหมด

วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมีความเห็นว่าควรมีการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบร่วมกับการพิจารณาเลือกวิธีและขั้นตอนการก่อสร้างของทั้งโครงการที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการทำงาน เพื่อให้ผลการออกแบบมีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง และสามารถทราบประมาณมูลค่าก่อสร้างเบื้องต้นได้ สำหรับใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบทางเลือกนี้กับทางเลือกอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาสื่อสารระหว่างผู้ร่วมงานหลายๆ คน และการนำข้อมูลแบบ 3 มิติจากแบบจำลองเสมือนจริงไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริง
มาใช้ในการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบ

จากผลของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อประสานงานแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงมีความสามารถในการช่วยด้านการติดต่อประสานงานอันได้แก่ ช่วยให้ทุกฝ่ายสามารถเข้าใจเข้าใจผลการออกแบบที่ชัดเจน ช่วยให้เกิดการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ดีระหว่างผู้ร่วมงาน ช่วยสนับสนุนให้มีการระดมความคิดช่วยให้มีการนำข้อมูลแบบ 3 มิติจาก VM ไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ช่วยให้เกิดการประสานงานที่ดีระหว่างผู้ร่วมงาน อันส่งผลให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน ดังรูปที่ 5.2

แม้ว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้ร่วมงานสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้ง่ายขึ้นและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นต่างๆ แต่เนื่องจากแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดด้านการแสดงข้อมูลด้านระยะ ทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม ตัวอย่างที่พบในกรณีศึกษา เช่น เมื่อวิศวกรโครงสร้างเห็นแบบจำลองเสมือนจริง วิศวกรโครงสร้างสามารถเข้าใจข้อจำกัดในการดำเนินงานและรูปทรงของอาคารที่ออกแบบใหม่ของสถาปนิกได้ แต่เมื่อวิศวกรโครงสร้างต้องการข้อมูลสำหรับใช้ในการวางตำแหน่งเสาใหม่ วิศวกรโครงสร้างมีความต้องการใช้แบบ 2 มิติ ซึ่งในตอนแรกผู้วิจัยเข้าใจว่าสาเหตุที่วิศวกรโครงสร้างมีความต้องการใช้แบบ 2 มิติเนื่องมาจากวิศวกรโครงสร้างมีความคุ้นเคยกับการใช้แบบ 2 มิติ จากการสอบถามวิศวกรโครงสร้างพบว่าวิศวกรโครงสร้างต้องการใช้แบบ 2 มิติ เนื่องจากต้องการทราบข้อมูลด้านระยะที่มีความเที่ยงตรงสำหรับใช้ในการพิจารณาตำแหน่งเสาและช่วงความยาวของคาน อันนำไปสู่การออกแบบขนาดเสาและขนาดคานของโครงสร้างใหม่ที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน จากการทดลองให้ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดด้านการแสดงข้อมูลด้านระยะ ซึ่งแตกต่างจากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ก่อนการดำเนินงานวิจัย

จากการที่วิศวกรโครงสร้างไม่สามารถพิจารณาออกแบบขนาดเสาและขนาดคานที่ชัดเจนของแต่ละทางเลือกได้ ส่งผลให้วิศวกรฐานรากไม่สามารถออกแบบขนาดฐานรากได้ เนื่องจากไม่ทราบตำแหน่งเสาและน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานรากได้อย่างชัดเจน และวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างไม่สามารถพิจารณาเลือกวิธีและขั้นตอนการก่อสร้างที่มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริงและส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการทำงานได้อย่างชัดเจน

นอกจากข้อจำกัดด้านการแสดงข้อมูลด้านระยะ ผลจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถแสดงรายละเอียดที่มีอยู่ในความเห็นจริงได้ทั้งหมด เพราะการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งจำลองสภาพความเป็นจริงของอาคารและเครื่องทดสอบ (ของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม) ที่มีอยู่เดิมทั้งหมด ทำให้เกิดความสูญเสียระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก รวมทั้งขนาดไฟล์ข้อมูลของแบบจำลองเสมือนจริงจะมีขนาดใหญ่มากและอาจไม่สามารถประมวลผลได้ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองเสมือน

จริง ผู้สร้างจำเป็นต้องพิจารณาเลือกจำลองสภาพความเป็นจริงเท่าที่จำเป็นสำหรับนำไปใช้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง เนื่องจากอาศัยการพิจารณาของผู้สร้างแบบจำลองเสมือนจริง อาจทำให้ผู้รับข้อมูลจากแบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถเข้าใจสภาพความเป็นจริงได้ทั้งหมด

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริง งานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการใช้แบบ 2 มิติสำหรับแสดงข้อมูลด้านระยะ และภาพถ่ายจากสถานที่จริงสำหรับแสดงข้อมูลสภาพความเป็นจริงซึ่งอาจไม่ได้แสดงภายในแบบจำลองเสมือนจริงมาทดลองใช้เป็นเครื่องมือแบบผสมผสานในการประชุมรวมครั้งที่สอง ซึ่งสรุปในหัวข้อ 5.2

5.2 ความสามารถในการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ

รูปแบบการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานเป็นการนำแบบ 2 มิติและภาพถ่ายแบบดิจิตอลมาใช้ร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริง โดยในการนำแบบ 2 มิติมาใช้เพื่อแสดงข้อมูลด้านระยะงานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการนำแบบ 3 มิติสำหรับนำมาสร้างแบบจำลองเสมือนจริงมาเขียนข้อมูลด้านระยะเพิ่มเติมและแสดงผลแบบ 2 มิติ (รูปแปลน) เพื่อลดระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายจากการสร้างแบบ 2 มิติใหม่

การใช้แบบจำลองเสมือนจริงแสดงให้เห็นว่าเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ติดต่อสื่อสารโดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างผู้ร่วมงานหลายๆ ฝ่าย เพราะการใช้แบบจำลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้ร่วมงานสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้ง่ายขึ้นและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ของแต่ละทางเลือกได้ (หัวข้อที่5.1) แต่จากข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริงทำให้ไม่สามารถพิจารณาออกแบบจากวิศวกรรมได้

ในหัวข้อนี้เป็นการนำแบบ 2 มิติและภาพถ่ายจากสถานที่จริงมาให้ข้อมูลระหว่างการติดต่อประสานงานร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งเป็นการช่วยให้ผู้ร่วมงานได้รับข้อมูลอย่างเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการดำเนินงานในช่วงออกแบบ (ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.3.2) ทำให้สามารถพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างและงานฐานรากที่มีความสอดคล้องกับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง เช่น สามารถวางแผนวิธีและขั้นตอนก่อสร้างที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน รวมทั้งสามารถทราบมูลค่าโครงการเบื้องต้นได้ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานมีความสามารถอันได้แก่ ช่วยให้ทุกฝ่ายสามารถเข้าใจเข้าใจผลการออกแบบที่ชัดเจน ช่วยให้เกิดการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ดีระหว่างผู้ร่วมงาน สนับสนุนให้มีการระดมความคิดช่วยให้มีการนำข้อมูลแบบ 3 มิติจาก VM ไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ของแต่ละทางเลือกได้ ช่วยให้ได้รับข้อมูลอย่าง

เพียงพอสำหรับใช้ออกแบบ ช่วยให้เกิดการประสานงานที่ดีระหว่างผู้ร่วมงาน และช่วยให้การติดต่อประสานงานเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

จากผลการดำเนินงานในช่วงออกแบบที่คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง สามารถช่วยเพิ่มความสามารถการก่อสร้างได้ และช่วยลดปัญหาในขั้นตอนก่อสร้าง เช่น ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบ อันเนื่องมาจากแบบรูปไม่สามารถก่อสร้างได้จริง การก่อสร้างผิดแบบหรือไม่ตรงกับความต้องการของเจ้าของโครงการ อันส่งผลให้ช่วยลดระยะเวลา ความพยายาม และค่าใช้จ่ายจากปัญหาดังกล่าวในช่วงก่อสร้างจริง นอกจากนี้ยังช่วยให้การดำเนินงานก่อสร้างราบรื่น สามารถสรุปรูปแบบการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานระหว่างการติดต่อประสานงานได้ดังรูปที่ 5.3

นอกจากนี้การใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของผลการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.3 แสดงการนำเครื่องมือแบบผสมผสาน (แบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่าย)
มาใช้ในการติดต่อประสานงานในช่วงออกแบบ

5.3 ค่าใช้จ่าย ระยะเวลาและความพยายามที่เกิดขึ้นจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสานมาประยุกต์ใช้งานจริง

5.3.1 การพิจารณาค่าใช้จ่าย ระยะเวลาและความพยายามที่เพิ่มขึ้น

แม้ว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาใช้เพิ่มความสามารถในการสื่อสาร ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.1 และหัวข้อที่ 5.2 แต่การนำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้จำเป็นต้องเสียระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งเป็นการประมาณระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานในกรณีศึกษา โดยในที่นี้ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เนื่องจากสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่เดิมได้

การคิดค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานระหว่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสาน เป็นการคิดค่าใช้จ่ายโดยตั้งสมมุติฐานว่าพนักงานมีเงินเดือนเท่ากับ 10,000 บาท และนำไปกับระยะเวลาในการทำงาน เช่น ระยะเวลาในการสร้างปรับปรุงแบบจำลองเสมือนจริงใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงใหม่เท่ากับ 2,500 บาท เป็นต้น การคิดค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมในช่วงแรกเป็นการประมาณราคาจากระยะเวลาในการเรียนรู้ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน โดยคิดค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงประมาณ 10,000 บาทและค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานประมาณ 12,000 บาท เนื่องจากจำเป็นต้องเรียนรู้เพิ่มเติมจากการฝึกอบรมการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง อันได้แก่ การเรียนรู้การปรับปรุงแบบ 3 มิติในซอฟต์แวร์ CAD เพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลด้านระยะได้ นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายด้านซอฟแวร์ ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถติดต่อสอบถามค่าใช้จ่ายได้จากตัวแทนจำหน่ายต่างๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริง และเครื่องมือแบบผสมผสาน ระหว่างการดำเนินงานภายในกรณีศึกษา

รายการ	แบบจำลองเสมือนจริง (VM)	เครื่องมือแบบผสมผสาน (VM+แบบ 2 มิติ+ภาพถ่าย)
ค่าใช้จ่าย		
1.ค่าซอฟต์แวร์ในช่วงแรก	1.ซอฟต์แวร์ CAD เช่น AutoCAD เป็นต้น 2.ซอฟต์แวร์สำหรับแปลงไฟล์ CAD เช่น 3D Studio MAX เป็นต้น 3.ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง เช่น Cult3D เป็นต้น	1.ซอฟต์แวร์ CAD เช่น AutoCAD เป็นต้น 2.ซอฟต์แวร์สำหรับแปลงไฟล์ CAD เช่น 3D Studio MAX เป็นต้น 3.ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง เช่น Cult3D เป็นต้น
2.ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมในช่วงแรก	ประมาณ 10,000 บาท	ประมาณ 12,000 บาท
3.ค่าใช้จ่ายจากภาพถ่าย	-	ค่าใช้จ่ายของกล้องถ่ายภาพแบบดิจิตอล (ราคาประมาณ 8,000 – 40,000)
4.ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงาน	-การสำรวจข้อมูล ≅ 2,500 บาท -การสร้าง VM ใหม่ ≅ 10,000 บาท -การปรับปรุง VM (ต่อ 1 ครั้ง) ≅ 2,500 บาท	-การสำรวจข้อมูล ≅ 2,500 บาท -การสร้าง VM ใหม่ ≅ 10,000 บาท -การปรับปรุง VM (ต่อ 1 ครั้ง) ≅ 2,500 บาท
ระยะเวลาและความพยายาม		
1.การเรียนรู้ในช่วงแรก	ประมาณ 1 เดือน	ประมาณ 1 เดือน
2.การนำไปใช้งานในแต่ละโครงการ	-การสำรวจข้อมูล ≅ 1 สัปดาห์ -การสร้าง VM ใหม่ ≅ 1 เดือน -การปรับปรุง VM (ต่อ 1 ครั้ง) ≅ 1 สัปดาห์	-การสำรวจข้อมูล ≅ 1 สัปดาห์ -การสร้าง VM ใหม่ ≅ 1 เดือน -การปรับปรุง VM (ต่อ 1 ครั้ง) ≅ 1 สัปดาห์

หมายเหตุ ตารางนี้เป็นการประมาณระยะเวลา พยายามและค่าใช้จ่ายเพื่อให้เห็นมูลค่าโดยประมาณเท่านั้น

5.3.2 การพิจารณาค่าใช้จ่าย ระยะเวลาและความพยายามที่ลดลง

แม้ว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานทำให้สูญเสียค่าใช้จ่าย ระยะเวลาและความพยายามดังแสดงในตารางที่ 5.1 แต่จากประโยชน์ของเครื่องมือดังกล่าวที่พบ

ระหว่างการดำเนินงานในกรณีศึกษาทำให้ผู้ร่วมงานมีความเห็นว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยลดระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการดำเนินงานออกแบบ

การใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานช่วยให้การสื่อสารสั้นลงและมีจำนวนครั้งในการติดต่อประสานงานน้อยลง อันส่งผลให้ประหยัดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบของสถาปนิกและวิศวกรต่างๆ

2) ขั้นตอนการประมูลงานก่อสร้าง

เนื่องจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้ผู้รับเหมาหรือผู้ควบคุมงานเข้าใจผลการออกแบบในโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมากได้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้รับเหมาหรือผู้ควบคุมงานสามารถวางแผนการก่อสร้างได้ชัดเจน อันส่งผลให้ผู้รับเหมาเสนอราคาประมูลงานก่อสร้างต่ำลง เพราะประเมินความเสี่ยงในการทำงานน้องลง

3) ขั้นตอนการก่อสร้าง

วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมีความเห็นว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยลดความสูญเสียด้านระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องมือดังกล่าวสามารถช่วยลดปัญหาการแก้ไขงาน เช่น ก่อสร้างผิดแบบหรือก่อสร้างไม่ตรงกับความต้องการของเจ้าของโครงการ เป็นต้น รวมทั้งช่วยลดปัญหาแบบไม่สามารถก่อสร้างจริงได้ เช่น แบบไม่ครบถ้วน แบบไม่ตรงกับสภาพการดำเนินงานจริง หรือแบบมีการซ้อนทับตำแหน่ง เป็นต้น

5.4 ข้อเสนอแนะแนวทางการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับดำเนินงานที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก

เนื่องจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจำเป็นต้องใช้ระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 5.1 ดังนั้นการพิจารณาเลือกเครื่องมือในการดำเนินงานอันได้แก่ การใช้เฉพาะแบบจำลองเสมือนจริงและการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติและภาพถ่าย แทนการใช้แบบ 2 มิติจำเป็นต้องมีการพิจารณาเลือกโครงการที่มีความเหมาะสม เพื่อให้ระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ในขณะก่อสร้างได้ (หัวข้อที่ 5.3.2) มีแนวโน้มมากกว่าระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือการใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน (หัวข้อที่ 5.3.1)

โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในพิจารณาตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 5.4 ดังมีรายละเอียดดังนี้

(1) ขั้นตอนแรกเป็นการพิจารณาลักษณะโครงการ

งานวิจัยนี้ในเสนอแนะให้มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานในโครงการ ตัวอย่างเช่น

-โครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการทำงานมาก

ควรมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการทำงานมาก เนื่องจากโครงการในลักษณะนี้ไม่สามารถใช้เฉพาะเครื่องมือแบบ 2 มิติดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพได้

-โครงการที่มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการดำเนินงาน

โครงการในลักษณะนี้ควรมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ เนื่องจากการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการดำเนินงานอาจทำให้ผู้ร่วมงานไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีและอาจเกิดปัญหาในการดำเนินงานหรือการติดต่อประสานงานได้ การใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้ผู้ร่วมงานเห็นการจำลองภาพ 3 มิติในลักษณะเสมือนจริงและสามารถทำความเข้าใจก่อนการทำงานในช่วงออกแบบหรือก่อสร้างจริงได้

การใช้แบบจำลองเสมือนจริงสำหรับโครงการที่มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการดำเนินงาน หรือโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการทำงานมาก มีประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน เช่น ช่วยสนับสนุนให้มีการระดมความคิดช่วยให้มีการนำข้อมูลแบบ 3 มิติจาก VM ไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ของแต่ละทางเลือกได้ และช่วยให้การติดต่อประสานงานเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน เป็นต้น

(2) ขั้นตอนที่สองเป็นการพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือการใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน

ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือเพียงชนิดเดียวเพียงพอต่อการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์หรือไม่ หากไม่เพียงพอควรมีการใช้รูปแบบของเครื่องมือแบบผสมผสานงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการพิจารณาโดยแบ่งเป็น 2 ทางเลือกดังนี้

(2.1) กรณีที่ลักษณะงานไม่ต้องการข้อมูลด้านระยะ

ลักษณะงานประเภทนี้สามารถใช้เฉพาะแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือในการดำเนินงานได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงดังแสดงในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือเพื่อแสดงรายละเอียดของแผนที่ Ogata et al. (1999) เพื่อแสดงภาพขั้นตอนก่อสร้างที่สำคัญ Ogata et al. (2000) เพื่อนำเสนอผลงานออกแบบ

เพื่อพิจารณาการวางผังเมือง Whyte et al. (2000) และเพื่อจำลองการก่อสร้าง Lipman and Reed (2000) เป็นต้น

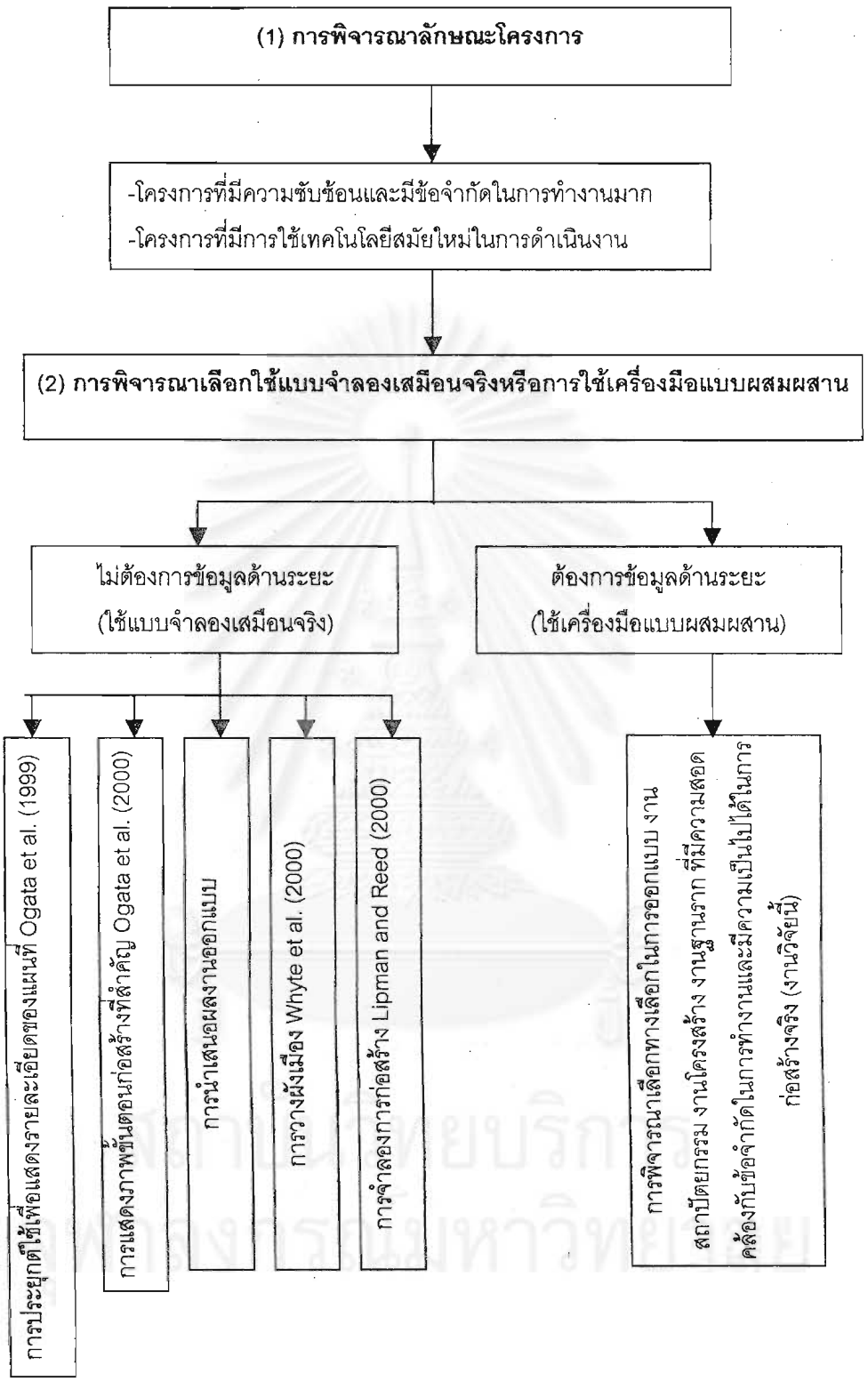
(2.2) กรณีที่ลักษณะงานต้องการข้อมูลด้านระยะ

ลักษณะงานประเภทนี้ไม่สามารถใช้เฉพาะแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัด คือ การแสดงข้อมูลด้านระยะ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการนำแบบ 2 มิติและภาพถ่ายจากสถานที่จริงมาเป็นเครื่องมือร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริงหรือการใช้เครื่องมือในรูปแบบผสมผสาน และทดลองใช้ภายในกรณีศึกษา จากผลการทดลองใช้งานจริงพบว่าการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินงานและการติดต่อประสานงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะงานที่มีความเหมาะสมในการใช้เครื่องมือในรูปแบบผสมผสาน เช่น การดำเนินงานในช่วงออกแบบซึ่งต้องมีการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบ งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง งานฐานราก ที่มีความสอดคล้องกับข้อจำกัดในการทำงานและมีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง (จากกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม) เป็นต้น

5.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์เครื่องมือ อันได้แก่ แบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสาน โดยพิจารณาด้านความสามารถในการใช้เครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการดำเนินงานและการสื่อสารในช่วงการออกแบบ รวมทั้งได้นำเสนอระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงและเครื่องมือแบบผสมผสานเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ 2 มิติ นอกจากนี้ได้ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานและการติดต่อสื่อสารในโครงการที่มีข้อจำกัดหลายประการ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือให้มีความเหมาะสมกับลักษณะการทำงานในโครงการอื่นๆ



รูปที่ 5.4 แสดงข้อเสนอแนะในการเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดของการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 การสรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ โดยทำการศึกษาข้อมูลจากการดำเนินงานจริงภายในกรณีศึกษา โครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ซึ่งเป็นโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการดำเนินงานหลายประการที่แตกต่างกับงานวิจัยที่ผ่านมา จากการสำรวจเชิงเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม อันได้แก่ งานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้แบบจำลองเสมือนจริงจากการสร้างแบบจำลองซึ่งไม่ได้มีการประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริง เช่น การวิจัยเพื่อพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับใช้งานร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริง(Grant and Lai, 1998) การนำแบบจำลองเสมือนจริงไปสร้างแบบจำลองการก่อสร้าง (Lipman and Reed, 2000) เป็นต้น และงานวิจัยที่มีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริง เช่น การนำแบบจำลองเสมือนจริงไปเชื่อมโยงข้อมูลกับแผนที่แบบ 2 มิติ (Ogata et al., 1999) การนำแบบจำลองเสมือนจริงไปแสดงภาพขั้นตอนการก่อสร้างที่มีความยุ่งยาก (Ogata et al., 2000) และ การนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้ในการวางผังเมือง (Whyte et al., 2000) เป็นต้น

6.1.1 ทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงและแนวทางการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์

1) ทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

งานวิจัยนี้ได้สำรวจทางเลือกในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง พบว่าปัจจุบันสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงได้ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแรกเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้การเขียนชุดคำสั่ง (Source Code) แบบตัวอักษร แต่การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในลักษณะนี้สามารถทำได้ยากและอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.1

รูปแบบที่สองเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยการใช้ซอฟต์แวร์ที่มีเครื่องมือช่วยซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการสร้างการควบคุมการแสดงผล เช่น การเดินชม การบินชม การย่อหรือขยายภาพ การกำหนดให้มีการแสดงภาพหรือไม่แสดงภาพ เป็นต้น นอก

จากนี้อาจมีเครื่องมือช่วยสำหรับเชื่อมโยงข้อมูลกับซอฟต์แวร์อื่นๆ เพื่อให้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ในรูปแบบนี้สามารถเขียนชุดคำสั่งแบบตัวอักษรเพื่อสั่งให้มีการควบคุมการแสดงผลในลักษณะที่ยุ่งยากมากกว่าชุดคำสั่งสำเร็จรูปได้ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.2

2) แนวทางการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง

จากตัวอย่างการพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับประยุกต์ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีความสามารถในการประมวลผลไม่สูง และประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานอันได้แก่ ซีพียู หน้าจอคอมพิวเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ (หัวข้อที่ 3.4) ทำให้การพิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ในงานวิจัยนี้มีราคาไม่สูง มีความสามารถในการแสดงข้อมูลสำหรับงานก่อสร้าง และมีความสะดวกในการนำมาประยุกต์ใช้งานจริง เช่น สะดวกในการสร้างการควบคุมการแสดงผลและแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริง รวมทั้งไม่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดไฟล์ข้อมูลของแบบจำลองเสมือนจริง เป็นต้น สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงภายในกรณีศึกษา แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงมีประโยชน์หลายประการ ดังแสดงในหัวข้อ 5.1 อย่างไรก็ตาม แบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถแสดงข้อมูลด้านระยะ (Dimension) และสภาพความเป็นจริงทั้งหมดได้ แต่ข้อจำกัดดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติ และภาพถ่ายจากสถานที่จริง ดังแสดงในหัวข้อ 5.2

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการพิจารณาซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการดำเนินงานก่อสร้างจริง โดยพิจารณาจากปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านความสามารถในการแสดงข้อมูลสำหรับงานก่อสร้างและปัจจัยด้านความสะดวกในการใช้งานจริง ซึ่งภายในงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันสามารถเลือกใช้ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่มีราคาไม่สูง แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.1.2 ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในงานที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมาก ๆ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอข้อมูลด้านเทคนิคและขั้นตอนทั้งหมดในการสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงภายในซอฟต์แวร์ Cult3D อันได้แก่ การอธิบายหลักการเลือกใช้คำสั่งสำเร็จรูปพร้อมทั้งตัวอย่างการกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง ขณะประมวลผล อันได้แก่ การจำลองการบินชม การย่อหรือขยายการแสดงภาพ การหมุนชมภาพแบบจำลองเสมือนจริงโดยรวม การจำลองการเดินชม การเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง การจำลองการหันซ้ายหรือหันขวาและการจำลองการก้มมองหรือเงยมอง รวมทั้งการ

ควบคุมให้มีการแสดงภาพหรือไม่แสดงภาพที่ต้องการได้ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.5 เพื่อให้ผู้ใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถเข้าไปชมภาพ 3 มิติในรูปแบบเหมือนจริงภายในแบบจำลองเสมือนจริงในมุมมองที่ต้องการได้

แม้ว่าข้อมูลด้านเทคนิคและขั้นตอนการสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงที่แสดงในหัวข้อที่ 3.5 เป็นการสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับใช้ในกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม แต่สามารถใช้ข้อมูลด้านเทคนิคและขั้นตอนดังกล่าวเป็นตัวอย่างสำหรับประยุกต์ใช้ในโครงการอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมากๆ (กรณีเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Cult3D เป็นซอฟต์แวร์ในการสร้างการควบคุมการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริง)

6.1.3 การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบของสถาปนิก

ในหัวข้อที่ 4.1.1 แสดงให้เห็นว่าในโครงการที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมาก การใช้เครื่องมือแบบ 2 มิติทำให้สถาปนิกไม่สามารถทราบผลกระทบของทางเลือกในการออกแบบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานออกแบบงานส่วนที่เกี่ยวข้อง เช่น ผลกระทบต่อระบบโครงสร้างอาคารที่มีอยู่เดิม ผลกระทบต่อเครื่องทดสอบที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ และผลกระทบงานระบบอาคารที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้สถาปนิกเห็นรูปแบบของการวางผังและโครงสร้างของอาคารภายใต้ข้อจำกัดของตำแหน่งโครงสร้างเดิม ถนนและอาคารโดยรอบได้อย่างชัดเจนมากกว่าการใช้แบบ 2 มิติหลายๆ แผ่น ทำให้สถาปนิกสามารถพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อการใช้พื้นที่ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น ตัวอย่างการเลือกวางตำแหน่งแกนช่องลิฟต์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องทดสอบขนาดใหญ่และมีการเปิดพื้นที่ก่อสร้างน้อยที่สุด รวมทั้งการวางตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านหลังและด้านข้างอาคารตามลำดับ ทำให้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้เกิดการตัดสินใจเลือกทางเลือกในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองเสมือนจริงไม่สะดวกในการให้ข้อมูลด้านระยะ ทำให้สถาปนิกไม่สะดวกในการออกแบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำแบบ 2 มิติสำหรับให้ข้อมูลด้านระยะ ร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริง ผลที่ได้รับแสดงให้เห็นว่าสถาปนิกสามารถพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบและดำเนินการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.1.4 การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบที่ได้ทำการออกแบบใหม่

งานวิจัยนี้ได้แสดงการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบในกรณีศึกษาซึ่งเป็นโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการดำเนินงานมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่เครื่องมือแบบ 2 มิติที่ใช้กันทั่วไปไม่สามารถทำได้ (ดังแสดงในหัวข้อ 4.2)

ตัวอย่างการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของผลการออกแบบ

-การตรวจสอบผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น การตรวจสอบการซ้อนทับตำแหน่งระหว่างโครงสร้างที่มีอยู่เดิมกับโครงสร้างที่ออกแบบใหม่ ผลกระทบจากอาคารที่ออกแบบใหม่ต่อถนนและอาคารโดยรอบ เป็นต้น เพื่อให้สถาปนิกสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบให้ส่งผลกระทบต่อข้อจำกัดในการดำเนินงานน้อยที่สุด รวมทั้งมีความเป็นไปได้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรม

-การตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของรูปทรงโดยรวมของอาคารที่ได้ออกแบบใหม่โดยใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้สถาปนิกสามารถตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขผลการออกแบบได้ง่ายและรวดเร็วมากกว่าการใช้แบบ 2 มิติซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ทำให้ผลการออกแบบของสถาปนิกมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

-การตรวจสอบพื้นที่ใช้งานตามความต้องการของเจ้าของ เช่น การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาแสดงรูปแบบของการกั้นผนังห้อง การวางตำแหน่งห้องต่างๆ รวมทั้งการวางตำแหน่งลิฟต์ ตำแหน่งบันไดหนีไฟ และตำแหน่งของห้องน้ำ เพื่อให้สถาปนิกสามารถพิจารณาความเหมาะสมของการใช้งานอาคารให้มีความสอดคล้องกับข้อบังคับตามกฎหมายและตรงตามความต้องการของเจ้าของโครงการ

จากผลที่ได้รับจากกรณีศึกษาทำให้สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองเสมือนจริงสามารถนำมาช่วยตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของแบบที่ได้ออกแบบใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากช่วยลดความผิดพลาดจากการออกแบบของสถาปนิกได้เป็นอย่างมาก ช่วยให้สถาปนิกสามารถตรวจสอบผลการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับข้อจำกัดในการดำเนินงานและตรงตามความต้องการของเจ้าของโครงการ นอกจากนี้สามารถนำแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งแสดงผลการออกแบบของสถาปนิกไปใช้ในการสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงานกับเจ้าของโครงการและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง

6.1.5 การนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อประสานงานระหว่างเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ

จากการดำเนินงานในกรณีศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเจ้าของโครงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเจ้าของโครงการที่ไม่มีความรู้งานสถาปัตยกรรมและงานวิศวกรรม เนื่องจากแบบจำลองเสมือนจริงสามารถแสดงผลการออกแบบในลักษณะภาพเหมือนจริงให้เจ้าของโครงการสามารถเข้าไปชมผลการออกแบบก่อนการก่อสร้างจริงในมุมมองที่ต้องการได้ เช่น จำลองการมองจากที่สูง หรือจำลองการมองจากที่ต่ำ เป็นต้น ทำให้เจ้าของโครงการสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการช่วยให้เจ้าของโครงการสามารถพิจารณาความพึงพอใจด้านความสวยงาม พื้นที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้สามารถใช้แบบจำลองเสมือนจริงดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการแจ้งส่วนที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขให้ผู้ออกแบบทราบ ซึ่งเป็นการช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้ตรงตามความต้องการของเจ้าของโครงการมากยิ่งขึ้น และช่วยให้เจ้าของโครงการได้ผลงานที่ตนต้องการ ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงแบบระหว่างการก่อสร้าง

2) การติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง

การติดต่อประสานงานร่วมกันระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างในกรณีศึกษาภายในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการประชุมรวมทั้งหมด 2 ครั้ง การประชุมรวมครั้งแรกเป็นการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือเพียงชนิดเดียวในการติดต่อประสานงาน

ผลจากการประชุมรวมครั้งแรกแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้ร่วมงานสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้อย่างรวดเร็วและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงความคิดกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ เช่น เมื่อวิศวกรโครงสร้างเสนอทางเลือกในการออกแบบ โดยเลือกใช้รูปแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Transfer Beam วิศวกรฐานรากสนใจที่จะทราบตำแหน่งของเสาและน้ำหนักที่ถ่ายลงมาในแต่ละฐานรากเพื่อใช้ในการออกแบบขนาดฐานรากร่วมกับการพิจารณาความสามารถในการก่อสร้างได้ สถาปนิกมุ่งเน้นที่จะพิจารณาเรื่องรูปทรงโดยรวมของอาคารซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความสูงระหว่างชั้นที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีการพิจารณา

ตำแหน่งเสา ตำแหน่งแกนช่องลิฟต์และตำแหน่งบันไดหนีไฟ แต่วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างมุ่งเน้นการพิจารณาเรื่องวิธีและขั้นตอนการก่อสร้าง โดยมีความเห็นว่าการใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Transfer Beam จะทำให้การก่อสร้างจริงส่งผลกระทบอย่างมากต่อข้อจำกัดในการดำเนินงาน เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พื้นที่สำหรับวางนั่งร้านรองรับน้ำหนักของแบบคานและคาน จากผลของการพิจารณาร่วมกันดังกล่าวส่งผลให้การใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Transfer ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในกรณีศึกษานี้ อันส่งผลให้การติดต่อสื่อสารจำเป็นต้องมีการพิจารณาทางเลือกในการออกแบบใหม่ เป็นต้น

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ติดต่อประสานงานระหว่างผู้ร่วมงาน เช่น การติดต่อสื่อสารระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง เพื่อพิจารณาทางเลือกในการออกแบบร่วมกับการพิจารณาความเป็นไปได้ในการออกแบบและก่อสร้างจริง รวมทั้งช่วยให้ผู้ร่วมงานสามารถพิจารณาผลกระทบจากการดำเนินงานของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้องได้อย่างชัดเจน เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีผู้ร่วมงานหลายๆ ฝ่ายการใช้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยให้มีการระดมความคิดและสามารถนำข้อมูลแบบ 3 มิติไปเชื่อมโยงความคิดกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม การออกแบบทางวิศวกรรม วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลด้านระยะที่มีความเที่ยงตรง เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปพิจารณาออกแบบงานโครงสร้างและงานฐานรากที่มีความสอดคล้องกับความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง แต่แบบจำลองเสมือนจริงที่ใช้ภายในกรณีศึกษาจากการประชุมรวมครั้งแรก มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถให้ข้อมูลด้านระยะได้ ทำให้การใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือเพียงชนิดเดียวไม่สามารถออกแบบทางวิศวกรรมได้ นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงไม่สามารถจำลองสภาพความเป็นจริงได้ทั้งหมด เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริง งานวิจัยนี้ได้เสนอให้มีการนำเครื่องมือแบบผสมผสาน ซึ่งประกอบด้วย แบบ 2 มิติสำหรับให้ข้อมูลด้านระยะ ภาพถ่ายจากสถานที่จริงและแบบจำลองเสมือนจริงเพื่อทดลองใช้ในการประชุมรวมครั้งที่ 2

ผลจากการประชุมรวมครั้งที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการติดต่อประสานงานระหว่างสถาปนิก วิศวกรโครงสร้าง วิศวกรฐานรากและวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้าง โดยช่วยให้สามารถพิจารณาทางเลือกในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้างและงานฐานรากที่มีความสอดคล้องกับข้อจำกัดในการดำเนินงาน มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริงมากยิ่งขึ้น (ความสามารถก่อสร้างได้) และช่วยให้สามารถออก

แบบทางวิศวกรรมได้ อันส่งผลให้วิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างสามารถพิจารณาวางแผนขั้นตอนการก่อสร้าง การพิจารณาเลือกใช้เครื่องจักรให้มีความสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำงานที่มีอยู่ การจัดการสถานที่ก่อสร้าง และสามารถพิจารณา ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างจริงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถเห็นผลกระทบจากการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งที่มีต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน

6.2 วิเคราะห์เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริง และเครื่องมือแบบผสมผสาน

จากผลของการดำเนินงานในกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการดำเนินงานก่อสร้างหลายประการอันได้แก่

-ช่วยให้ทุกฝ่ายสามารถเข้าใจผลการออกแบบที่ชัดเจนและรวดเร็วมากกว่าการใช้แบบ 2 มิติหลายแผ่นซึ่งประกอบด้วยรูปแปลนหรือรูปด้านต่างๆ

-ช่วยให้เจ้าของโครงการสามารถเข้าใจผลการออกแบบได้อย่างชัดเจนก่อนการก่อสร้าง ทำให้เจ้าของโครงการสามารถพิจารณาความพึงพอใจของผลการออกแบบหรือสั่งให้มีการแก้ไขแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบระหว่างการก่อสร้าง

-ในขั้นตอนการพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบ แบบจำลองเสมือนจริงสนับสนุนให้มีการระดมความคิดระหว่างผู้ร่วมงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ร่วมงานซึ่งมีความรู้ความชำนาญแตกต่างกันสามารถใช้ข้อมูลแบบ 3 มิติจากแบบจำลองเสมือนจริงไปเชื่อมโยงกับการพิจารณาในประเด็นอื่นๆ ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น การพิจารณาความสวยงามและพื้นที่ใช้สอยทางสถาปัตยกรรม การพิจารณาความเป็นไปได้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรมที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการทำงาน รวมทั้งการพิจารณาระยะเวลาและมูลค่าโครงการ เป็นต้น ทำให้เกิดการตัดสินใจร่วมกันอย่างชาญฉลาดบนพื้นฐานของข้อมูลจริง โดยปราศจากการใช้ความรู้สึกหรือสัญชาตญาณเป็นข้อมูลในการตัดสินใจ

-ช่วยพัฒนาการตรวจสอบความผิดพลาดของแบบได้ง่ายขึ้น เช่น การพิจารณาความถูกต้องและความครบถ้วนของผลการออกแบบ การพิจารณาความสามารถก่อสร้างได้ เป็นต้น ทำให้สามารถหาแนวทางแก้ปัญหาก่อนการก่อสร้างจริงได้

-ช่วยให้ผู้ก่อสร้างเข้าใจกระบวนการก่อสร้างได้ง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้สามารถวางแผนการทำงานและการติดต่อประสานงานระหว่างการก่อสร้างได้ดีขึ้น เช่น พิจารณาเลือกวิธีและขั้นตอนการก่อสร้างที่สอดคล้องกับข้อจำกัดในการทำงาน การจัดสรรทรัพยากรด้านแรงงาน วัสดุ

และเครื่องจักรที่ใช้ การวางแผนจัดเตรียมพื้นที่สำหรับสำหรับทำงานระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น นอกจากนี้สามารถช่วยลดปัญหาการตีความผลการออกแบบที่ผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากประโยชน์ของแบบจำลองเสมือนจริงแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ดีระหว่างผู้ร่วมงาน อันส่งผลให้ผู้ร่วมงานเกิดการประสานงานที่ดีและเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

อย่างไรก็ตาม จากการประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงมีข้อจำกัดอันได้แก่ ไม่สามารถให้ข้อมูลด้านระยะและไม่สามารถแสดงข้อมูลในสภาพความเป็นจริงได้ทั้งหมด อันส่งผลให้วิศวกรและสถาปนิกไม่สามารถพิจารณาออกแบบได้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองเสมือนจริงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการข้อมูลด้านขนาดได้ เช่น การประยุกต์ใช้เพื่อแสดงรายละเอียดของแผนที่ การแสดงภาพขั้นตอนก่อสร้างที่สำคัญ การนำเสนอผลงานออกแบบการวางผังเมือง และการจำลองการก่อสร้าง เป็นต้น

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบจำลองเสมือนจริง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอให้มีการใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองเสมือนจริง แบบ 2 มิติสำหรับให้ข้อมูลด้านระยะ และภาพถ่ายจากสถานที่จริงสำหรับให้ข้อมูลสภาพความเป็นจริง ผลจากการประยุกต์ใช้แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยให้สถาปนิกและวิศวกรพิจารณาออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทำให้สามารถสรุปได้ว่า เครื่องมือแบบผสมผสานมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างที่มีความต้องการข้อมูลด้านขนาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การพิจารณาเลือกทางเลือกในการออกแบบ การออกแบบงานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง งานฐานราก ที่มีความสอดคล้องกับข้อจำกัดในการทำงานและมีความเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง (กรณีศึกษาภายในงานวิจัยนี้)

6.3 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงรูปแบบการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงที่ใช้ในกรณีศึกษา

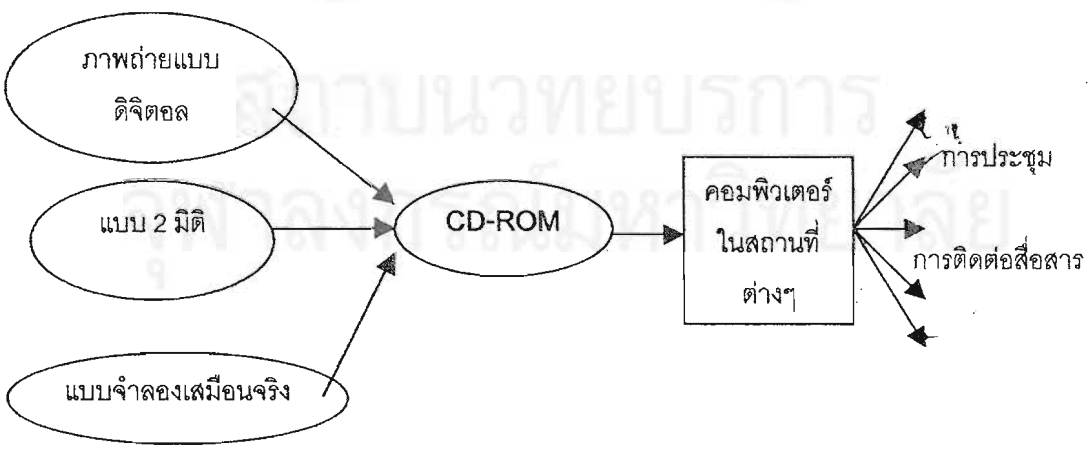
จากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงโดยการกดปุ่มบนคีย์บอร์ดซึ่งมีหลายปุ่ม ทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการสร้างปุ่มควบคุมการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้เมาส์ควบคุมแทนการใช้ปุ่มกดจากคีย์บอร์ด เพื่อให้การใช้งานแบบจำลองเสมือนจริงสามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น

6.4 รูปแบบการติดต่อประสานงานโดยใช้ CD-ROM สำหรับบันทึกข้อมูลในการสื่อสารระหว่างการติดต่อประสานงาน

จากผลการดำเนินงานในกรณีศึกษาภายในงานวิจัยนี้ซึ่งมีการใช้เครื่องมืออันได้แก่ ภาพถ่ายแบบดิจิตอล เพื่อให้ข้อมูลด้านสถานที่จริงก่อนการออกแบบก่อสร้าง แบบ 2 มิติ สำหรับให้ข้อมูลด้านระยะ และแบบจำลองเสมือนจริง เพื่อให้ผู้ร่วมงานสามารถเห็นภาพเสมือนจริงของผลการออกแบบในมุมมองที่ต้องการก่อนการก่อสร้างจริงได้

โดยเครื่องมือดังกล่าวถูกเก็บไว้ในรูปไฟล์ข้อมูลภายใน CD-ROM เพื่อใช้ในการติดต่อประสานงานและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างการประชุมแทนการใช้แบบพิมพ์เขียวซึ่งเป็นการเขียนแบบ 2 มิติบนกระดาษขนาดใหญ่จำนวนหลายแผ่น และการใช้แบบจำลองเสมือนจริงแทนการใช้แบบจำลองทางกายภาพซึ่งไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย

แม้ว่ารูปแบบการติดต่อสื่อสารโดยใช้ข้อมูลซึ่งถูกบันทึกไว้ภายใน CD-ROM ในงานวิจัยนี้อาจไม่ใช้งานวิจัยแรกที่มีการนำรูปแบบดังกล่าวมาใช้ แต่ผลจากการดำเนินงานภายในงานวิจัยนี้ช่วยสนับสนุนให้มีการนำรูปแบบการใช้แผ่น CD-ROM ในการบันทึกข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับดำเนินงานก่อสร้าง เช่น ภาพถ่ายจากสถานที่จริง แบบ 2 มิติ และแบบจำลองเสมือนจริง เป็นต้น เมื่อต้องการใช้งานสามารถนำ แผ่น CD-ROM ซึ่งมีขนาดเล็กไปเปิดบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ณ สถานที่ที่ได้มีการนัดหมายไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ทำให้เกิดความสะดวกในการนำข้อมูลไปประชุมหรือการติดต่อประสานงานในสถานที่ต่างๆ นอกจากนี้ยังสนับสนุนให้มีการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นไว้ในแผ่น CD-ROM เพียงแผ่นเดียว ทำให้ช่วยลดปัญหา เช่น การลืมนำข้อมูลที่เตรียมไว้บางอย่างมาเป็นข้อมูลในการประชุม เป็นต้น



รูปที่ 6.1 แสดงรูปแบบการ บันทึกข้อมูลบน CD-ROM สำหรับนำไปใช้ในการประชุมในที่ต่างๆ

6.5 การใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการวางแผนก่อสร้างเบื้องต้น

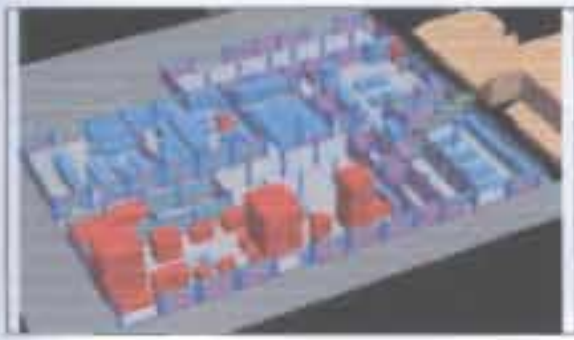
แม้ว่าผลการออกแบบอาคารภายในงานวิจัยนี้ยังอยู่ในขั้นตอนการออกแบบรายละเอียด แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำผลสรุปเรื่องรูปแบบของอาคารใหม่ที่ได้จากการติดต่อสื่อสารระหว่างการประชุมมาใช้ในการวางแผนขั้นตอนการก่อสร้างเบื้องต้นได้

แบบจำลองเสมือนจริงดังรูปที่ 6.2 (ก) ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะของอาคารและเครื่องทดสอบที่มีอยู่เดิมในชั้นที่ 1 ของอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม เริ่มแรกเป็นการสร้างฐานรากและเสาเพื่อรองรับอาคารใหม่ รูปที่ 6.2 (ข) แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างเสาใหม่ส่งผลกระทบต่อชั้นที่ 1 เฉพาะองค์ประกอบที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ดังนั้นก่อนเริ่มก่อสร้างผู้ก่อสร้างจำเป็นต้องมีการเตรียมพื้นที่สำหรับทำงานฐานรากและสร้างเสาในบริเวณของเสาใหม่เท่านั้น (ใช้พื้นที่ประมาณสามเมตรสำหรับวางเครื่องเจาะแบบสามขา) และรูปที่ 6.2 (ค) แสดงให้เห็นว่าการก่อสร้างฐานรากและเสาใหม่ซึ่งอยู่นอกแนวอาคารเดิมผู้ก่อสร้างสามารถวางแผนการก่อสร้างให้ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อข้อจำกัดในการทำงานโดยสามารถใช้พื้นที่ของถนนในการวางเครื่องจักรระหว่างการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างเสาใหม่ชั้นที่ 2 ภายในอาคารจำเป็นต้องมีการรื้อถอนโครงสร้างของอาคารเดิมชั้นที่ 2 บางส่วน ดังรูปที่ 6.2 (ง) เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับติดตั้งเสาได้ ซึ่งโครงการนี้เลือกใช้เสาเหล็กแทนการใช้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อให้สะดวกในการก่อสร้างและส่งผลกระทบต่ออาคารและเครื่องทดสอบเดิมน้อยที่สุด

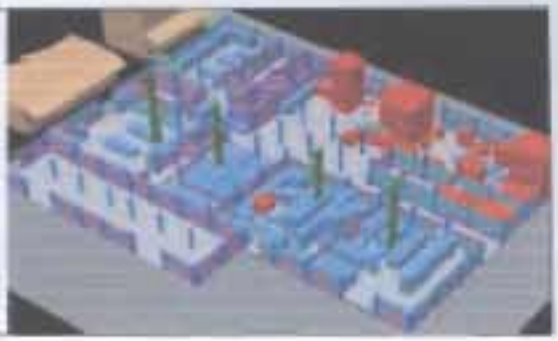
เนื่องจากอาคารที่ออกแบบใหม่มีการใช้โครงสร้างเหล็กแบบ Vierendeel ในชั้นที่ 3 และชั้นที่ 5 ดังนั้นในการก่อสร้างจำเป็นต้องมีการวางแผนการใช้เครื่องมือเพื่อยกโครงเหล็กดังกล่าวขึ้นติดตั้ง รูปที่ 6.2 (จ) แสดงให้เห็นขั้นตอนการยกโครงเหล็กขึ้นติดตั้งในชั้นที่ 3 และนำพื้นสำเร็จมาติดตั้งในชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ดังรูปที่ 6.2 (ฉ) และ (ช) ตามลำดับ

รูปที่ 6.2 (ซ) และ (ฌ) เป็นการนำโครงเหล็กขึ้นติดตั้งในชั้นที่ 5 และนำพื้นสำเร็จมาติดตั้งในชั้นที่ 5 ตามลำดับ หลังจากนั้นเป็นการติดตั้งหลังคาดังรูปที่ 6.2 (ญ)

ขั้นตอนถัดมาเป็นการก่อสร้างอันได้แก่ การก่อสร้างบันไดหนีไฟ (รูปที่ 6.2 (ฎ)) การติดตั้งลิฟต์ การกั้นผนังในชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 (รูปที่ (ฎ) (ฐ) และ (ฑ) ตามลำดับ) รวมทั้งการติดตั้งงานระบบและส่วนตกแต่งอื่นๆ ทางสถาปัตยกรรม เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จจะได้อาคารใหม่ดังรูปที่ 6.2 (ฒ) และ (ณ)

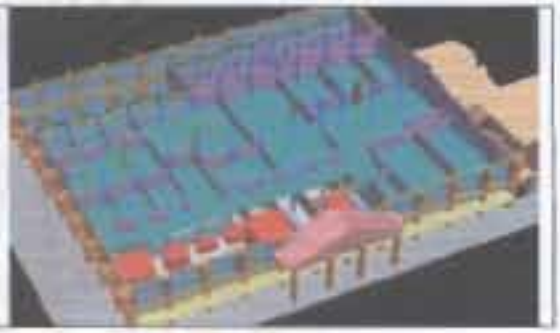


ก.อาคารและเครื่องทดสอบเดิมชั้น 1

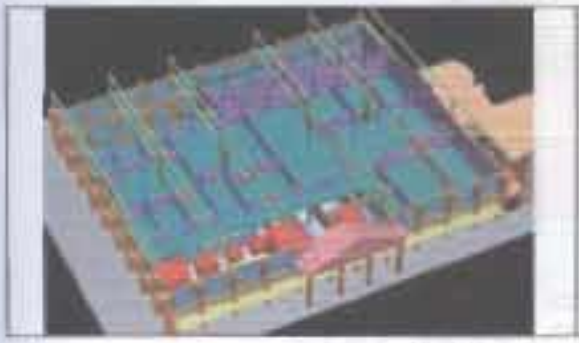


ข.การวางตำแหน่งเสาใหม่ภายในอาคาร

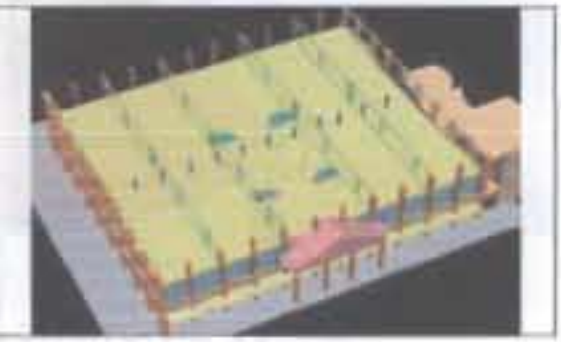
ค.การวางตำแหน่งเสาและผนังโครงระบบอาคารใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารเดิมชั้น1



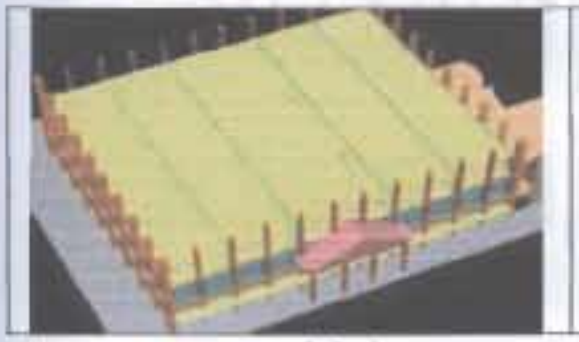
ง.การวางตำแหน่งโครงสร้างใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมชั้น 2



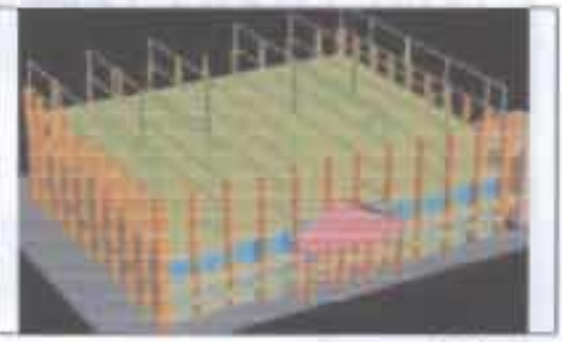
จ.การวางตำแหน่งโครงสร้างเหล็กชั้นที่ 3



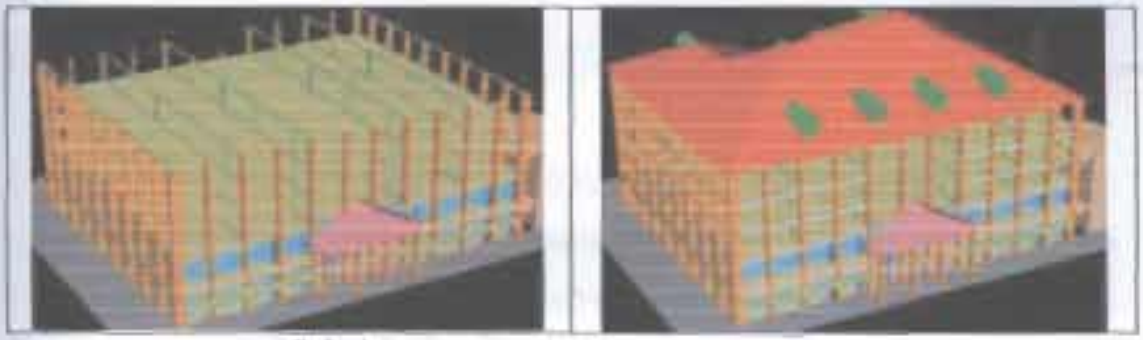
ฉ.การวางพื้นในชั้นที่ 3



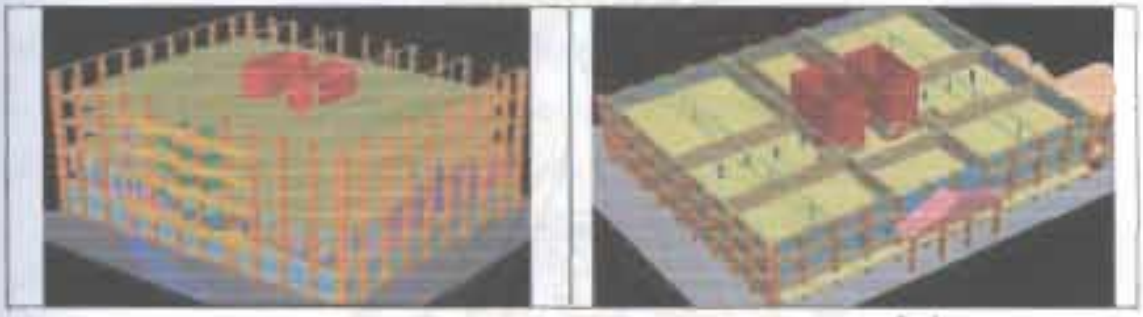
ช.การวางพื้นชั้นที่ 4



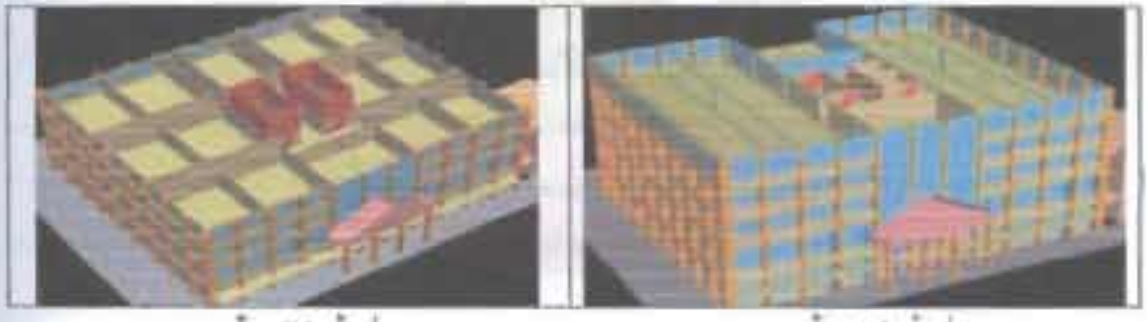
ซ.การวางตำแหน่งโครงสร้างเหล็กในชั้นที่ 5



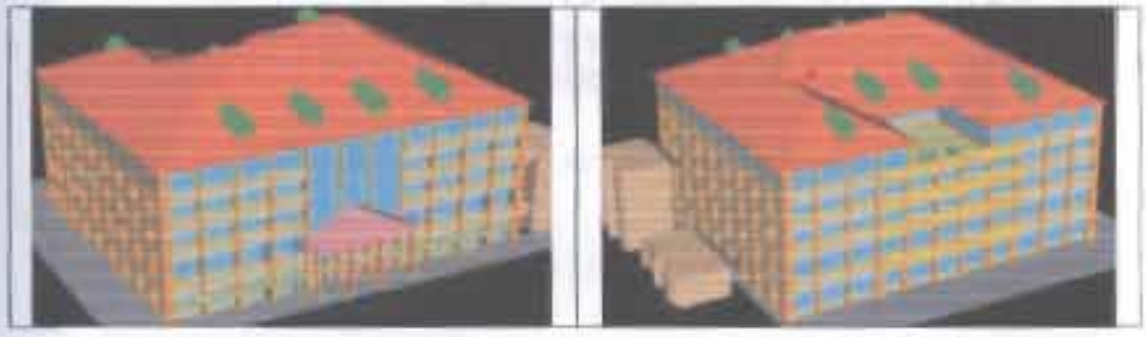
ผ.การวางพื้นชั้นที่ 5 ฝ.การวางหลังคา



ฟ.การวางตำแหน่งบันไดหนีไฟด้านหลังอาคาร ภ.การกั้นผนังชั้นที่ 3



ย การกั้นผนังในชั้นที่ 4 ฃ.การกั้นผนังในชั้นที่ 5



ผ.รูปอาคารเมื่อแล้วเสร็จ (ด้านหน้า) ณ.รูปอาคารเมื่อแล้วเสร็จ (ด้านหลัง)

รูปที่ 6.2 แสดงการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการวางแผนการก่อสร้างเบื้องต้น

6.6 การอภิปรายผลงานวิจัย

แม้ว่าแบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก เพราะช่วยให้เกิดความเข้าใจมากกว่าการใช้แบบ 2 มิติและมีความยืดหยุ่นในการทดลองทางเลือกต่างๆ มากกว่าการใช้แบบจำลองทางกายภาพซึ่งเป็นเครื่องมือที่ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย

แต่การใช้เครื่องมือดังกล่าวทำให้เสียค่าใช้จ่าย อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านซอฟต์แวร์และค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมพนักงานในช่วงแรก ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานสำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริง หรือค่าใช้จ่ายจากการจ้างพนักงานไปถ่ายภาพ นอกจากนี้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและความพยายามสำหรับการเรียนรู้ในช่วงแรก รวมทั้งระยะเวลาและความพยายามในการสร้างและปรับปรุงผลการออกแบบระหว่างการดำเนินงานจริง ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3.1

อย่างไรก็ตาม ผู้ร่วมงานในกรณีศึกษามีความเห็นว่าการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานสามารถช่วยลดระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบสามารถช่วยให้การสื่อสารสั้นลงและมีจำนวนครั้งในการติดต่อประสานงานน้อยลง ในขั้นตอนการประมูลงานก่อสร้างสามารถช่วยให้ผู้รับเหมาประเมินความเสี่ยงในการทำงานน้องลง อันส่งผลให้เสนอราคาประมูลงานก่อสร้างต่ำลง และขั้นตอนการก่อสร้างสามารถช่วยลดปัญหาการแก้ไขงานและลดปัญหาแบบไม่สามารถก่อสร้างได้ เป็นต้น แต่ความสามารถในการช่วยลดระยะเวลา ความพยายามและค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะมีผลมากขึ้นกับโครงการที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดในการทำงานมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือแบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานควรมีการพิจารณาเลือกใช้อย่างเหมาะสมดังแสดงในหัวข้อ 6.6

6.7 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในโครงการอื่น ๆ

6.7.1 ข้อเสนอแนะแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมาก

หัวข้อที่ 5.4 เป็นการแสดงให้เห็นข้อเสนอแนะแนวทางการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนอันได้แก่

1) การพิจารณาลักษณะโครงการ

โครงการที่ควรมีการใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือเครื่องมือแบบผสมผสานมาประยุกต์ใช้ควรเป็นโครงการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการทำงานมาก หรือโครงการที่มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการดำเนินงาน

2) การพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองเสมือนจริงหรือการใช้เครื่องมือแบบผสมผสาน

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการเลือกใช้โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน ควรมีการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในกรณีที่การดำเนินงานไม่ต้องการใช้ข้อมูลด้านขนาด และควรใช้เครื่องมือแบบผสมผสานเมื่อการดำเนินงานต้องการข้อมูลด้านขนาด ดังแสดงในรูปที่ 5.4

6.7.2 ขั้นตอนการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

1) เลือกซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องพิจารณาก่อนมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในช่วงแรก (ในหน่วยงานที่ไม่เคยมีการใช้แบบจำลองเสมือนจริง) การพิจารณาเลือกซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ควรมีการพิจารณาเลือกให้มีความสอดคล้องกัน ดังแสดงในหัวข้อ 6.1.1

2) การเรียนรู้การสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริง

ในช่วงเริ่มแรกก่อนที่หน่วยงานหรือองค์กรจะมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริงจำเป็นต้องมีการเรียนรู้ เช่น การสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริง เป็นต้น ซึ่งอาจมีรายละเอียดที่แตกต่างกันตามชนิดของซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างของการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้ซอฟต์แวร์ Cult3D ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.5 ซึ่งเป็นการแสดงรายละเอียดที่จำเป็น เช่น หลักการทำงาน การกำหนดค่าต่างๆ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีอื่นๆ โดยใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้และนำไปประยุกต์ใช้งานจริงไม่มาก

อย่างไรก็ตาม หากมีการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ตัวอื่นๆ รูปแบบการสร้าง การปรับปรุงแก้ไขและการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงจะมีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดของซอฟต์แวร์ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนะสิ่งที่จำเป็นสำหรับใช้ในการเรียนรู้การสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนจริงในช่วงเริ่มต้น อันได้แก่ คู่มือ (Manual) และตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ซึ่งตัวอย่างการประยุกต์ใช้มีประโยชน์อย่างมากต่อการเรียนรู้ในช่วงแรก เนื่องจากช่วยให้ผู้ที่ศึกษาสามารถเรียนรู้การควบคุมการแสดงผล การสร้างและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเสมือนได้โดยใช้ระยะเวลาอันสั้น

3) นำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจริง

แม้ว่างานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นผลจากการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้เป็นเครื่องมือเฉพาะการดำเนินงานในช่วงออกแบบ แต่จากผลการศึกษาที่ได้รับแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากดังแสดงในหัวข้อที่ 6.2

อย่างไรก็ตาม ผลจากการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีความยุ่งยากในการจดจำปุ่มคำสั่งสำหรับควบคุมการแสดงผลในลักษณะต่างๆ ดังนั้นงาน

วิจัยนี้จึงเสนอให้มีการสร้างปุ่มควบคุมการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แทนการใช้ปุ่มกดจากคีย์บอร์ด เพื่อให้การใช้งานแบบจำลองเสมือนจริงสามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น

6.8 แนวทางการวิจัยในอนาคต

1) ควรมีการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการดำเนินงานในช่วงการก่อสร้างจริง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานและการสื่อสารในช่วงการออกแบบ แต่ไม่ได้ศึกษาในรายละเอียดของการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาใช้ในการวางแผนควบคุมการดำเนินงานในช่วงการก่อสร้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการทำวิจัยด้านการนำแบบจำลองเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนควบคุมการดำเนินงานในช่วงการก่อสร้าง เช่น การใช้แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือช่วยพิจารณาทางเลือกที่เกี่ยวกับวิธีและขั้นตอนการก่อสร้างโดยแสดงจำลองภาพในลักษณะภาพเคลื่อนไหวหรือแสดงหลายหน้าต่างบนจอคอมพิวเตอร์ซึ่งช่วยให้มองเห็นหลายๆ มุมมองพร้อมๆ กัน รวมทั้งการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปเชื่อมโยงข้อมูลกับระยะเวลาของขั้นตอนการก่อสร้างในทางเลือกต่างๆ ซึ่งเทคโนโลยีของแบบจำลองเสมือนจริงในปัจจุบันสามารถทำได้ โดยการสร้างแบบจำลองร่วมกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาต่างๆ เช่น ภาษา JAVA หรือ ภาษา Visual Basic เป็นต้น เพื่อให้ผู้รับเหมาหรือวิศวกรด้านบริหารงานก่อสร้างสามารถมองเห็นการใช้ทรัพยากร และระยะเวลาในการก่อสร้าง รวมทั้งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละทางเลือก สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการประเมินทางเลือกในการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด

2) งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาผลกระทบในกรณีที่สถาปนิก วิศวกรต่างๆ และเจ้าของโครงการอาจอยู่ในองค์กรต่างกัน ดังนั้น ควรมีการศึกษาว่าหน้าที่ในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองเสมือนจริงใครควรเป็นฝ่ายรับผิดชอบ เช่น ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งรับผิดชอบหรือแต่ละฝ่ายสับเปลี่ยนหน้าที่ความรับผิดชอบ เป็นต้น รวมทั้งควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการภายในองค์กรหากมีการนำแบบจำลองเสมือนจริงไปใช้จริง

6.9 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1) การดำเนินงานในกรณีศึกษายังไม่ถึงขั้นวางแผนการก่อสร้างจริง เนื่องจากยังไม่ทราบขนาดที่ชัดเจนของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างและงานฐานราก

2) ความสามารถของแบบจำลองเสมือนจริงซึ่งใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้ (สร้างจากซอฟต์แวร์ Cult3D v5.2) อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามเทคโนโลยี เนื่องจากในอนาคตซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแบบจำลองเสมือนจริงอาจมีความสามารถเพิ่มมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชีวาวัฒน์ บุญศิวนนท์, VRML เทคนิคการสร้างกราฟิก 3 มิติบนอินเตอร์เน็ต (กรุงเทพ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544), หน้า 436.

ภาณุพงษ์ ปัตติสิงห์, AutoCAD 2000 : 3D Modelling (กรุงเทพ : สตาร์คอม, 2542), หน้า 453.

ภาษาอังกฤษ

Ahmad, I. Ahmed., "Integration in the Construction Industry:Information Technology as the Driving Force.," In Proceedings of the 3rd International Conference on Project Management (Singapore: Nanyang Technical University) (2001)

Akinsola, A., et.al., "Development of an automated communication system using Internet technology for managing construction projects.," In Proceedings of the 1st Conference on Implementing IT to Obtain a Competitive Advantage in the 21st Century Hong Kong (2000): 835-854.

Anumba, C. J., Baron, G., and Duke, A., "Information and communications technologies to facilitate concurrent engineering in construction.," BT Technol J 3 (July 1997)

Bourdakis, V., "From CAAD to VR; building a VRML model of London's West End.," Proceedings of 3rd-UK VRSIG Conference, De Montford University, Leicester, (1996)

Bourdakis, V., "The future of VRML on large urban models.," Proceedings of VR-SIG'97 (1 November 1997): 55–61.

Grant, H., and Lai, C. K., "Simulation Modeling with Artificial Reality Technology (SMART): An Integration of Virtual Reality and Simulation Modeling.," Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference (1998): 437-441.

Lipman, R., and Reed, K., "Using VRML in Construction Industry Applications.," Web3D-VRML 2000 Symposium Monterey CA (21-24 February 2000)

Ogata, S., et al., "Application of Virtual Model to Achieve Consensus for Construction Project.," Journal of Symposium on Civil Engineering Information Processing System (1998): 81-88.

Ogata, S., et al., "Case-based Analysis for Virtual Model Application in AEC industry.," PROCEEDINGS INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION VISUALISATION IV'99 London England (1999): 566-571.

Ogata, S., et al., "Information Embodiment by Virtual Model for Construction Project.," Implementing IT to obtain a competitive advantage in the 21 st Century Hong Kong (2000): 566-574.

Scott, A., and Howe., "A network-based kit-of-parts virtual building system.," Proceedings of CAAD Futures, Munich, Germany (4–6 August 1997): 691–706.

Whyte, J., et.al., "From CAD to virtual reality:modelling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools.," Automation in Construction 10 (2000): 43-55.

Zeltzer, D., "Autonomy Interaction and Presence.," PRESENSE Vol.1 No.1 (1992): 127-132.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Cult3D

ภาคผนวก ก.
คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Cult3D

ในคู่มือการติดตั้งโปรแกรม Cult 3D ประกอบด้วยสามส่วนอันได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นการแสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Cult3D Designer เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ส่วนที่สองจะเป็นการแสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Cult3D Exporter for 3D Studio Max เพื่อให้โปรแกรม 3D Studio Max สามารถแปลงไฟล์ข้อมูลแบบสามมิติมาเป็นไฟล์ข้อมูลที่พร้อมสำหรับการนำไปใช้งานบนโปรแกรม Cult3D Designer และส่วนสุดท้าย จะเป็นการแสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Cult3D ActiveX Player ซึ่งก็คือ Plugin ของ โปรแกรม Internet Explorer เพื่อช่วยให้แบบจำลองเสมือนจริงสามารถแสดงผลผ่านโปรแกรม Internet Explorer ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

หมายเหตุ ในกรณีผู้ใช้ต้องการใช้โปรแกรม Cult3D Designer ในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง ผู้ใช้สามารถเลือกลงโปรแกรม Cult3D ActiveX Player พร้อมกับโปรแกรม Cult3D Designer ดังแสดงในส่วนที่หนึ่งได้ โดยไม่ต้องดำเนินการซ้ำตามขั้นตอนที่แสดงในส่วนที่สาม

1.การติดตั้งโปรแกรม Cult3D Designer ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

(1) Double Click บนไอคอน ดังรูป

(2) กดปุ่ม Next

(3) โปรแกรม Cult 3D แนะนำให้ปิดโปรแกรมอื่นๆ ทั้งหมดก่อนทำการติดตั้ง หากปิดโปรแกรมอื่นๆ หมดแล้ว กดปุ่ม Next

(4) โปรแกรมจะให้เข้าไปอ่านรายละเอียดของลิขสิทธิ์ของการใช้โปรแกรม ถ้าอ่านเสร็จแล้วกดปุ่ม Yes

(5) เลือกส่วนประกอบของโปรแกรม Cult 3D ที่ต้องการจะใช้งาน (ในที่นี้ผู้เขียนได้เลือกโปรแกรม Designer v5.2 โปรแกรม Natscape Plugin v5.2 และโปรแกรม Internet Explorer/Active X Plugin v5.2) เมื่อทำการเลือกแล้วเสร็จ กดปุ่ม Next

(6) ถ้ามีพื้นที่ว่างในฮาร์ดดิสก์เพียงพอ โปรแกรมจะบอกว่าขณะนี้พร้อมที่จะทำการติดตั้งโปรแกรมแล้ว ในกดปุ่ม Next (ถ้าต้องการแก้ไขการเลือกส่วนประกอบของโปรแกรมในข้อ (5) ให้กดปุ่ม Back เพื่อกลับไปทำการแก้ไข)

(7) เลือกพื้นที่บนฮาร์ดดิสก์ที่ต้องการจะติดตั้งโปรแกรม Designer v5.2 หลังจากนั้นกดปุ่ม Next

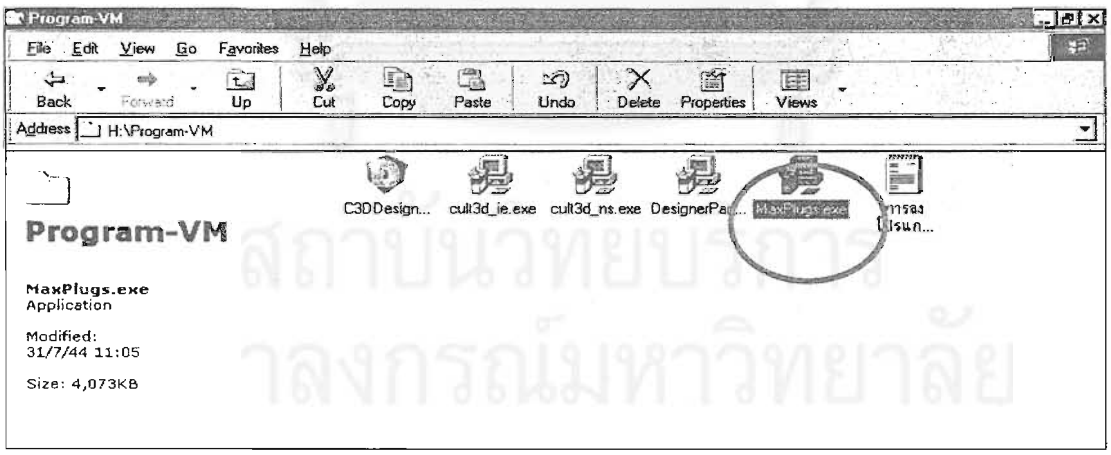
(8) หน้าจอจะแสดงผลการคัดลอกไฟล์

(9) เลือกพื้นที่บนฮาร์ดดิสก์ที่ต้องการจะติดตั้งโปรแกรม Internet Explorer/Active X Plugin v5.2 ถ้าเลือกเสร็จกดปุ่ม Next

(10) เมื่อการติดตั้งโปรแกรมแล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Close เพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

2.การติดตั้งโปรแกรม Cult3D Exporter for 3D Studio Max ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

(1) Double Click บนไอคอน ดังรูป



(2) โปรแกรม Cult 3D Exporter for 3D Studio Max แนะนำให้ปิดโปรแกรมอื่นๆ ทั้งหมดก่อนทำการติดตั้งโปรแกรม หากผู้ทำการติดตั้งโปรแกรมปิดโปรแกรมอื่นๆ หมดแล้ว กดปุ่ม Next

(3) โปรแกรมจะให้เข้าไปอ่านรายละเอียดของลิขสิทธิ์ของการใช้โปรแกรม ถ้าอ่านเสร็จแล้วกดปุ่ม Yes

(4) ผู้ใช้ทำการเลือกโปรแกรม 3D Studio Max ให้ตรงกับเวอร์ชันที่ผู้ใช้ได้ทำการติดตั้งไว้

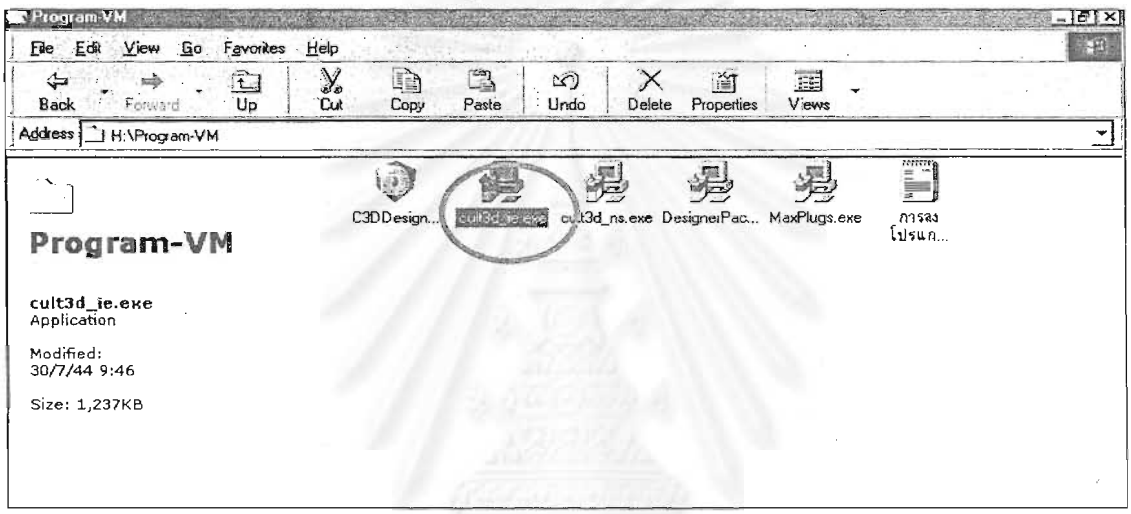
หลังจากนั้นกดปุ่ม Next

(5) ผู้ใช้จะต้องเลือกตำแหน่งที่ได้มีการติดตั้ง โปรแกรม 3D Studio Max หลังจากนั้นกดปุ่ม Next

(6) ถ้าการติดตั้งโปรแกรมแล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Close เพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

3. **การติดตั้งโปรแกรม** Cult3D ActiveX Player **ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้**

(1) Double Click บนไอคอน ดังรูป



(2) กดปุ่ม Next

(3) โปรแกรม Cult3D ActiveX Player แนะนำให้ปิดโปรแกรมอื่นๆ ทั้งหมดก่อนทำการติดตั้งโปรแกรม ถ้าปิดโปรแกรมอื่นๆ หมดแล้ว กดปุ่ม Next

(4) โปรแกรมจะให้เข้าไปอ่านรายละเอียดของลิขสิทธิ์ของการใช้โปรแกรม ถ้าอ่านเสร็จแล้วกดปุ่ม Yes

(5) ผู้ใช้จะต้องเลือกตำแหน่งที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม Cult3D ActiveX Player หลังจากนั้นกดปุ่ม Next

(6) ถ้ามีพื้นที่ว่างในฮาร์ดดิสก์เพียงพอ โปรแกรมจะบอกว่าขณะนี้พร้อมที่จะทำการติดตั้งโปรแกรมแล้ว ในกดปุ่ม Next (ถ้าต้องการแก้ไขการเลือกส่วนประกอบของโปรแกรมในข้อ (5) ให้กดปุ่ม Back เพื่อกลับไปทำการแก้ไข)

(7) ถ้าการติดตั้งโปรแกรมแล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Close เพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

ภาคผนวก ข.

คู่มือการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

1.คู่มือการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการประชุมรวมครั้งที่ 1

หมวดการใช้	การควบคุม	หน้าที่
ใช้ปุ่มกด	U,u	เลื่อนขึ้น ในแนวดิ่ง
	D,d	เลื่อนลง ในแนวดิ่ง
	Arrow Up	เดินไปข้างหน้า
	Arrow Down	เดินถอยหลัง
	Arrow Right	เคลื่อนที่แบบเลื่อนไปทางขวา
	Arrow Left	เคลื่อนที่แบบเลื่อนไปทางซ้าย
	8	มองมุมสูงขึ้น(มองแบบเงย)
	2	มองมุมต่ำลง(มองแบบก้ม)
	4	หันหน้าไปทางซ้าย
	6	หันหน้าไปทางขวา
	R,r	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-หลังคา
	T,t	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-โครง Truss
	J,j	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น1 ออกแบบใหม่
	K,k	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-เสาชั้น1และชั้น2ใหม่
	L,l	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น2 ออกแบบใหม่
	M,m	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น3 ออกแบบใหม่
	N,n	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น4 ออกแบบใหม่
	O,o	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น5 ออกแบบใหม่
	P,p	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-บันไดด้านหลังและแผงอลูมิเนียม
	S,s	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ชั้นสอง
	F,f	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ชั้นหนึ่ง

1.คู่มือการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการประชุมรวมครั้งที่ 1 (ต่อ)

ใช้ Mouse ควบคุม	คลิกเมาส์ด้านซ้าย ค้าง+ลาก	หมุนดูภาพในมุมมอง(โดยรวมของอาคาร) ต่างๆ
	คลิกเมาส์ด้านขวา ค้าง+ลาก	ย่อภาพ - กดค้างแล้วลากขึ้นด้านบน ขยายภาพ - กดค้างแล้วลากลงด้านล่าง
	คลิกเมาส์ด้านซ้าย และด้านขวาค้าง+ ลาก	เลื่อนภาพอาคาร(Move Picture)

2.คู่มือการควบคุมการแสดงผลของแบบจำลองเสมือนจริงสำหรับการประชุมรวมครั้งที่ 2

หมวดการใช้	การควบคุม	หน้าที่
ใช้ปุ่มกด	U,u	เลื่อนขึ้น ในแนวดิ่ง
	D,d	เลื่อนลง ในแนวดิ่ง
	Arrow Up	เดินไปข้างหน้า
	Arrow Down	เดินถอยหลัง
	Arrow Right	เคลื่อนที่แบบเลื่อนไปทางขวา
	Arrow Left	เคลื่อนที่แบบเลื่อนไปทางซ้าย
	8	มองมุมสูงขึ้น(มองแบบเงย)
	2	มองมุมต่ำลง(มองแบบก้ม)
	4	หันหน้าไปทางซ้าย
	6	หันหน้าไปทางขวา
	R,r	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-หลังคา
	I,i	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น3
	O,o	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น4
	P,p	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น5
	G,g	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น1
	H,h	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ผนังชั้น2
	J,j	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-โครงสร้างชั้น3
	K,k	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-โครงสร้างชั้น4
	L,l	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-โครงสร้างชั้น5

	Q,q	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-เครื่องทดสอบ
	W,w	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ถนนและอาคารโดยรอบ
	X,x	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-แนวปล่องลิฟท์
	C,c	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-เสาแนวกลาง
	Z,z	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-บันไดหนีไฟ
	S,s	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ชั้นสองอาคารเดิม
	F,f	ซ่อนภาพ & แสดงภาพ-ชั้นหนึ่งอาคารเดิม
ใช้ Mouse ควบคุม	คลิกเมาส์ด้านซ้ายค้าง+ลาก	หมุนดูภาพในมุมมอง(โดยรวมของอาคาร) ต่างๆ
	คลิกเมาส์ด้านขวาค้าง+ลาก	ย่อภาพ - กดค้างแล้วลากขึ้นด้านบน ขยายภาพ - กดค้างแล้วลากลงด้านล่าง
	คลิกเมาส์ด้านซ้ายและด้านขวาค้าง+ลาก	เลื่อนภาพอาคาร(Move Picture)

สถาบันวิทยบริการ
าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

โครงสร้างและการกำหนดค่าของแบบจำลองเสมือนจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.
โครงสร้างและการกำหนดค่าของแบบจำลองเสมือนจริง

ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงในงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของกรณีศึกษาโครงการสร้างตึกครอบอาคารปฏิบัติการเจริญวิศวกรรม ซึ่งควบคุมการแสดงผลโดยใช้ฮาร์ดแวร์อันได้แก่ การควบคุมด้วยเมาส์และการสร้างปุ่มควบคุมจากคีย์บอร์ด แต่ในส่วนที่จะแสดงต่อไปนี้เป็นการแบ่งประเภทตามลักษณะการควบคุมการแสดงผล โดยแบ่งเป็น 5 ประเภท ดังมีรายละเอียดดังนี้

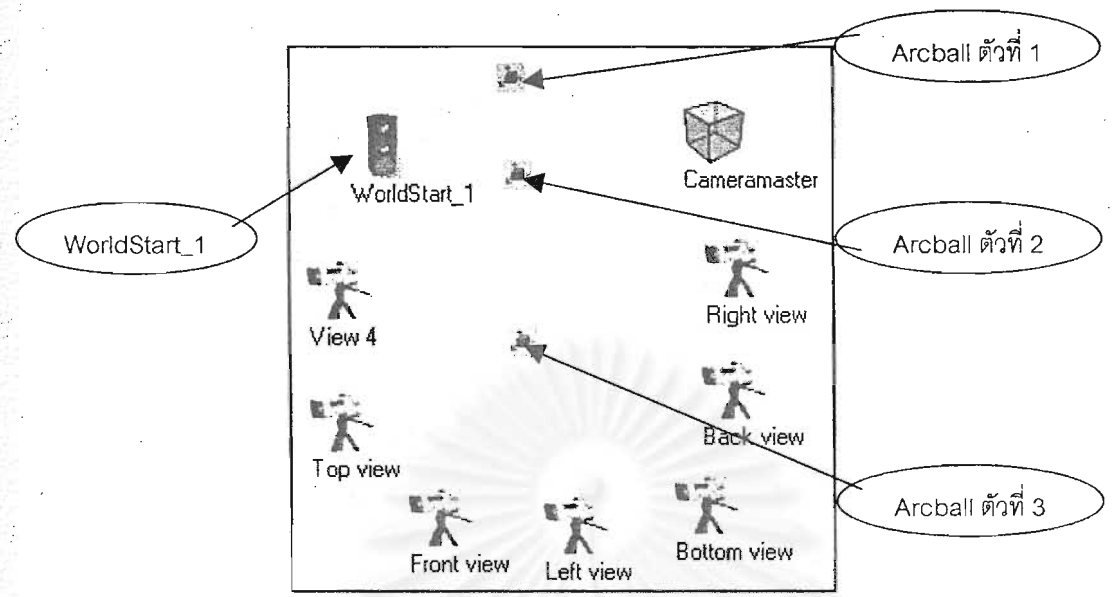
1. การควบคุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวม

การควบคุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวมเป็นการแสดงผลอันได้แก่ การหมุนชมภาพรวมของแบบจำลองเสมือนจริงในมุมมองต่างๆ การปรับให้มีการย่อภาพหรือขยายภาพและการปรับการแสดงภาพในลักษณะเคลื่อนที่ตามแนวระนาบ XY โดยใช้คำสั่งสำเร็จรูป Arcball ซึ่งเป็นคำสั่งที่มากับซอฟแวร์ Cult3D และทำการควบคุมการแสดงผลผ่านเมาส์

โดยปกติคำสั่งสำเร็จรูป Arcball 1 ตัวมีความสามารถในการรับค่าและสั่งค่าแบบจำลองเสมือนจริงให้มีการแสดงผลแบบบินชมภาพรวมได้ ซึ่งในช่วงเริ่มต้นงานวิจัยนี้ได้มีการนำคำสั่งสำเร็จรูป Arcball 1 ตัวมาใช้ ผลจากการใช้พบว่าสามารถควบคุมการแสดงผลได้ยากและมักจะมีข้อผิดพลาดขณะประมวลผล (เมื่อได้ทำการศึกษาพบว่ามีสาเหตุเนื่องจากไฟล์ข้อมูลในงานวิจัยนี้มีขนาดใหญ่เกินความสามารถของคำสั่งสำเร็จรูป Arcball 1 ตัว)

จากผลของการลองผิดลองถูกงานวิจัยนี้พบว่าสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้คำสั่งสำเร็จรูป Arcball จำนวน 3 ตัว โดยมีโครงสร้างของการควบคุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ ค1 ซึ่งมีหลักการประมวลผลสั่งงานคือ Arcball ตัวที่ 1 และ Arcball ตัวที่ 2 มีหน้าที่ในการรับค่าจากปุ่มซ้ายของเมาส์ (ขณะมีการควบคุมการแสดงผล) และสั่งให้มีการประมวลผลเสมือนกับการหมุนภาพอาคารเพื่อชมภาพรวมในมุมมองต่าง ๆ

Arcball ตัวที่ 3 มีหน้าที่ 2 ประการ คือ ประการแรกทำหน้าที่ในการรับค่าจากปุ่มขวาของเมาส์และสั่งให้มีการย่อหรือขยายภาพเสมือนจริง ประการที่สองทำหน้าที่ในการรับค่าจากการกดปุ่มซ้ายและปุ่มขวาพร้อมกันและสั่งให้มีการเลื่อนภาพเสมือนจริงในระนาบ XY ของหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ ค1 แสดงการควบคุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวม
(การย่อภาพหรือขยายภาพ การเลื่อนภาพและการหมุนชมภาพโดยรวม)

การควบคุมการแสดงผลแบบบินชมภาพรวมสามารถทำได้โดยการลากคำสั่งสำเร็จรูปไปวางให้มีความสัมพันธ์ดังรูป ค1 และกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ค1

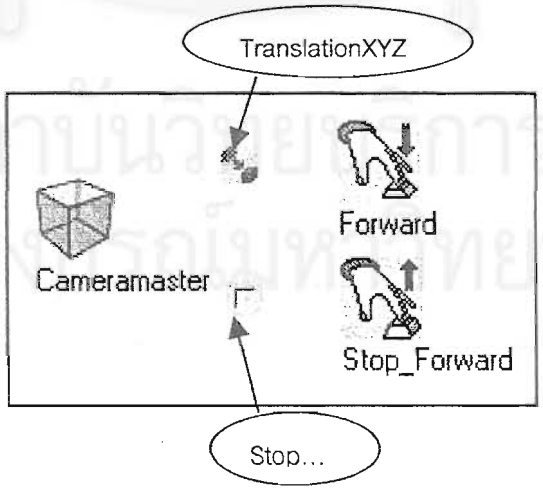
ตารางที่ ค1 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการบินชมภาพ

รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
WorldStart_1	-เลือก Initial Activation
Arcball ตัวที่ 1	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster ใน Details / กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ -Mouse button functions/ กำหนดค่าดังนี้ LEFT button = Rotate Z , RIGHT button = None และ MIDDLE button = None -เลือก Friction duration = 1000 ms. -เลือก Loop
Arcball ตัวที่ 2	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster ใน Details / กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ -Mouse button functions/ กำหนดค่าดังนี้ LEFT button = Rotate X , RIGHT button = None และ MIDDLE button = None

	-เลือก Friction duration = 2000 ms. -เลือก Loop
Arcball ตัวที่ 3	-Parameter.../ เลือก View4, Top view, Front view, Left view, Bottom view, Back view และ Right view ใน Details / กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้ -Mouse button functions/ กำหนดค่าดังนี้ LEFT button = None, RIGHT button = Translate -Z และ MIDDLE button = Translate -XY -Translation sensitivity กำหนดค่า X=50%,Y=50% และ Z=50% -เลือก Friction duration = 2000 ms. -เลือก Loop

2. การควบคุมการแสดงผลแบบเดินชม (ในทิศทางเคลื่อนที่ไปด้านหน้า เคลื่อนที่ไปด้านหลัง เคลื่อนที่ไปด้านขวาและเคลื่อนที่ไปด้านซ้าย)

การควบคุมการแสดงผลในลักษณะนี้เป็นการควบคุมการแสดงภาพเหมือนจริงให้มีลักษณะเหมือนกับการเดินเข้าไปชมอาคารภายในแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งเป็นการเดินเข้าไปชมในทิศทางเคลื่อนที่ไปด้านหน้า เคลื่อนที่ไปด้านหลัง เคลื่อนที่ไปด้านขวาและเคลื่อนที่ไปด้านซ้าย โดยใช้การควบคุมผ่านคีย์บอร์ด เมื่อต้องการจำลองการเคลื่อนที่ ผู้ใช้ต้องกดแป้นพิมพ์ตามที่กำหนดไว้ (กดค้าง) หากต้องการให้หยุดการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยการปล่อยแป้นพิมพ์



รูปที่ ค2 แสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลแบบเดินชม (เคลื่อนที่ไปด้านหน้า)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการสร้างการควบคุมการแสดงผลแบบเดินชมในทิศทางเคลื่อนที่ไปด้านหน้า โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ ค2 ซึ่งมีหลักการในการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้กดปุ่มที่ได้

กำหนดค่าไว้ในปุ่ม Forward (ในที่นี้คือ Arrow Up) ผู้ใช้จะเห็นภาพเสมือนกับการเดินเข้าไปชม (เคลื่อนที่ไปด้านหน้า ตามคำสั่งสำเร็จรูป TranslationXYZ) ภายในแบบจำลองเสมือนจริง และเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยการปล่อยปุ่มดังกล่าว (หยุดตามคำสั่งสำเร็จรูป Stop...)

การสร้างการควบคุมการแสดงผลสามารถทำได้โดยการดึงคำสั่งสำเร็จรูปมาวางในมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ค2 และทำการกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปดังตารางที่ ค2

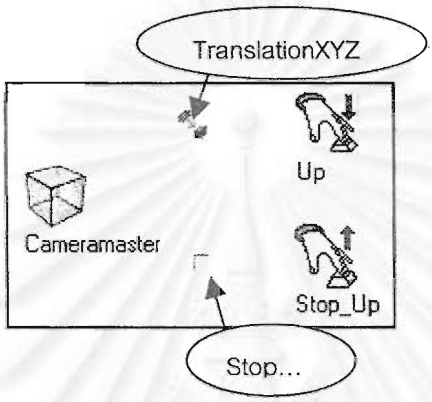
ส่วนสร้างการควบคุมการแสดงผลแบบเดินชมในลักษณะเคลื่อนที่ไปด้านหลัง เคลื่อนที่ไปด้านขวาและเคลื่อนที่ไปด้านซ้ายสามารถทำได้โดยการสร้างโครงสร้างของคำสั่งสำเร็จรูปเช่นเดียวกับที่แสดงในตัวอย่าง แต่เปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าในคำสั่งสำเร็จรูป TranslationXYZ ให้มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ

ตารางที่ ค2 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
ปุ่ม Forward	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า ในที่นี้คือ Arrow Up
ปุ่ม Stop_Forward	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มเดียวกับปุ่ม Forward ในที่นี้คือ Arrow Up
Translation XYZ	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ TranslationXYZ controls / กำหนดค่า X:(V = 0, Time = 3000), ค่า Y:(V = 0, Time = 3000), ค่า Z:(V = -5, Time = 3000) - Detail.../ เลือก Loop
Stop...	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ เลือก Forward TranslationXYZ

3. การควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง

การควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ขึ้นหรือเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งเป็นการควบคุมการแสดงภาพเสมือนจริงให้มีลักษณะเสมือนกับเคลื่อนที่ขึ้นหรือเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งเพื่อชมอาคารภายในแบบจำลองเสมือนจริง โดยใช้การควบคุมผ่านคีย์บอร์ด เมื่อต้องการจำลองการเคลื่อนที่ ผู้ใช้ต้องกดแป้นพิมพ์ตามที่กำหนดไว้ (กดค้าง) หากต้องการให้หยุดการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยการปล่อยแป้นพิมพ์



รูปที่ ค3 แสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ ค3 ซึ่งมีหลักการในการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้กดปุ่มที่ได้กำหนดค่าไว้ในปุ่ม Up (ในที่นี้คือ U) ผู้ใช้จะเห็นภาพเสมือนกับได้เคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง (ตามคำสั่งสำเร็จรูป TranslationXYZ) ภายในแบบจำลองเสมือนจริง และเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยการปล่อยปุ่มดังกล่าว (หยุดตามคำสั่งสำเร็จรูป Stop...)

การสร้างการควบคุมการแสดงผลสามารถทำได้โดยการดึงคำสั่งสำเร็จรูปมาวางในมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ค3 และทำการกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปดังตารางที่ ค3

ส่วนสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งสามารถทำได้โดยการสร้างโครงสร้างของคำสั่งสำเร็จรูปเช่นเดียวกับที่แสดงในตัวอย่าง แต่เปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าในคำสั่งสำเร็จรูป TranslationXYZ ให้มีการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง คือ กำหนดค่าDetail.../ TranslationXYZ controls / กำหนดค่า X:(V = 0, Time = 3000) , ค่า Y:(V = 0, Time = 3000) , ค่า Z:(V = -10, Time = 3000)

ตารางที่ ค3 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งและการหยุด

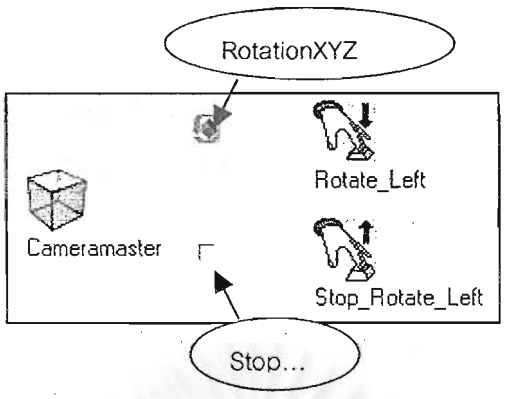
รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
ปุ่ม Up	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้เคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง ในที่นี้คือ U,u
ปุ่ม Stop_Up	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มเดียวกับปุ่ม Up ในที่นี้คือ U,u
Translation XYZ	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ TranslationXYZ controls / กำหนดค่า X:(V = 0, Time = 3000) , ค่า Y:(V = 0, Time = 3000) ,ค่า Z:(V = 10, Time = 3000) - Detail.../ เลือก Loop
Stop...	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ เลือก Up TranslationXYZ

4. การควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันซ้ายหรือหันขวา

การควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันซ้ายหรือหันขวาเป็นการควบคุมการแสดงภาพเสมือนกับการเข้าไปยืนภายในแบบจำลองเสมือนจริงและหันหน้าไปชมภาพในด้านซ้าย (หันซ้าย) หรือด้านขวา (หันขวา) โดยใช้การควบคุมผ่านคีย์บอร์ด เมื่อต้องการจำลองการหันหน้าไปชมภาพในด้านซ้ายหรือด้านขวา ผู้ใช้ต้องกดแป้นพิมพ์ตามที่กำหนดไว้ (กดค้าง) จนกระทั่งถึงมุมมองที่ต้องการ หากต้องการให้หยุดสามารถทำได้โดยการปล่อยแป้นพิมพ์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันหน้าไปชมภาพด้านซ้ายมือ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ ค4 ซึ่งมีหลักการในการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้กดปุ่มที่ได้กำหนดค่าไว้ในปุ่ม Rotate_Left (ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 4) ผู้ใช้จะเห็นภาพเสมือนกับได้หันหน้าไปชมภาพด้านซ้ายมือ (ตามคำสั่งสำเร็จรูป RotationXYZ) ภายในแบบจำลองเสมือนจริง และเมื่อต้องการหยุดสามารถทำได้โดยการปล่อยปุ่มดังกล่าว (หยุดตามคำสั่งสำเร็จรูป Stop...)

การสร้างการควบคุมการแสดงผลสามารถทำได้โดยการดึงคำสั่งสำเร็จรูปมาวางในมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ค4 และทำการกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปดังตารางที่ ค4



รูปที่ ค4 แสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันซ้าย

ส่วนสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันหน้าไปชมภาพด้านขวามือสามารถทำได้โดยการสร้างโครงสร้างของคำสั่งสำเร็จรูปเช่นเดียวกับที่แสดงในตัวอย่าง แต่เปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าในคำสั่งสำเร็จรูป RotationXYZ ให้มีการหมุนมองมองไปทางด้านขวามือ ซึ่งในงานวิจัยนี้ดังมีการกำหนดค่าดังนี้ ค่า Detail.../ RotationXYZ action / กำหนดค่า X:(V = 0, Time = 3000) , ค่า Y:(V = -15, Time = 3000) ,ค่า Z:(V = 0, Time = 3000)

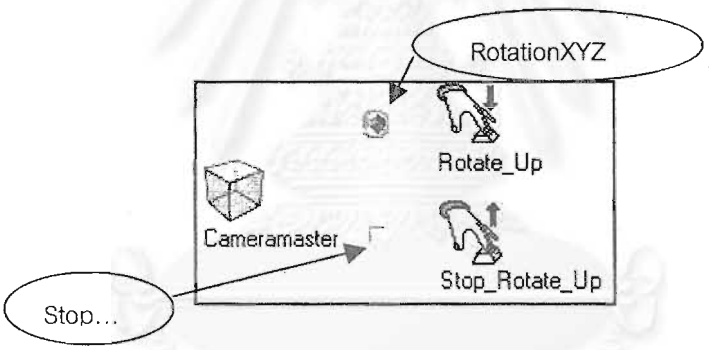
ตารางที่ ค4 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันซ้ายและการหยุด

รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
ปุ่ม Rotate_Left	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้เคลื่อนที่ในลักษณะหันซ้าย ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 4
ปุ่ม Stop_Rotate_left	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มเดียวกับปุ่ม Rotate_Left ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 4
Rotation XYZ	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ RotationXYZ action / กำหนดค่า X:(V = 0, Time = 3000) , ค่า Y:(V = 15, Time = 3000) ,ค่า Z:(V = 0, Time = 3000) - Detail.../ เลือก Loop
Stop...	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ เลือก Rotate_LeftRotationXYZ

5. การควบคุมการแสดงผลในลักษณะการก้มมองและเงยมอง

การควบคุมการแสดงผลในลักษณะนี้มีลักษณะคล้ายกับการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันหน้าไปชมภาพทางด้านซ้ายหรือด้านขวามือ โดยเป็นการควบคุมการแสดงภาพเสมือนกับการเข้าไปยืนก้มมองหรือเงยมองภาพภายในแบบจำลองเสมือนจริง โดยใช้การควบคุมผ่านคีย์บอร์ด เมื่อต้องการจำลองการก้มมองภาพที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าหรือเงยมองภาพในระดับที่สูงกว่าผู้ใช้สามารถควบคุมได้โดยการกดแป้นพิมพ์ตามที่กำหนดไว้ (กดค้าง) จนกระทั่งถึงมุมมองที่ต้องการ หากต้องการให้หยุดสามารถทำได้โดยการปล่อยแป้นพิมพ์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการเงยหน้าไปชมภาพที่อยู่ในระดับที่สูงกว่า โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ ค5 ซึ่งมีหลักการในการทำงานคือ เมื่อผู้ใช้กดปุ่มที่ได้กำหนดค่าไว้ในปุ่ม Rotate_Up (ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 8) ผู้ใช้จะเห็นภาพเสมือนกับได้เงยหน้าชมภาพที่อยู่ในระดับที่สูงกว่า (ตามคำสั่งสำเร็จรูป RotationXYZ) ภายในแบบจำลองเสมือนจริง และเมื่อต้องการหยุดสามารถทำได้โดยการปล่อยปุ่มดังกล่าว (หยุดตามคำสั่งสำเร็จรูป Stop...)



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการเงยมอง

การสร้างการควบคุมการแสดงผลสามารถทำได้โดยการดึงคำสั่งสำเร็จรูปมาวางในมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ค5 และทำการกำหนดค่าภายในคำสั่งสำเร็จรูปดังตารางที่ ค5

ส่วนการสร้างการควบคุมการแสดงผลในลักษณะการหันหน้าไปชมภาพด้านขวามือสามารถทำได้โดยการสร้างโครงสร้างของคำสั่งสำเร็จรูปเช่นเดียวกับที่แสดงในตัวอย่าง แต่เปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าในคำสั่งสำเร็จรูป RotationXYZ ให้มีการหมุนมองมองเพื่อชมภาพที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งในงานวิจัยนี้ดังมีการกำหนดค่าดังนี้ ค่า Detail.../ RotationXYZ action / กำหนดค่า X:(V = -15, Time = 3000) , ค่า Y:(V = 0, Time = 3000) ,ค่า Z:(V = 0, Time = 3000)

ตารางที่ ค5 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการแสดงผลในลักษณะการเงยมองและการหยุด

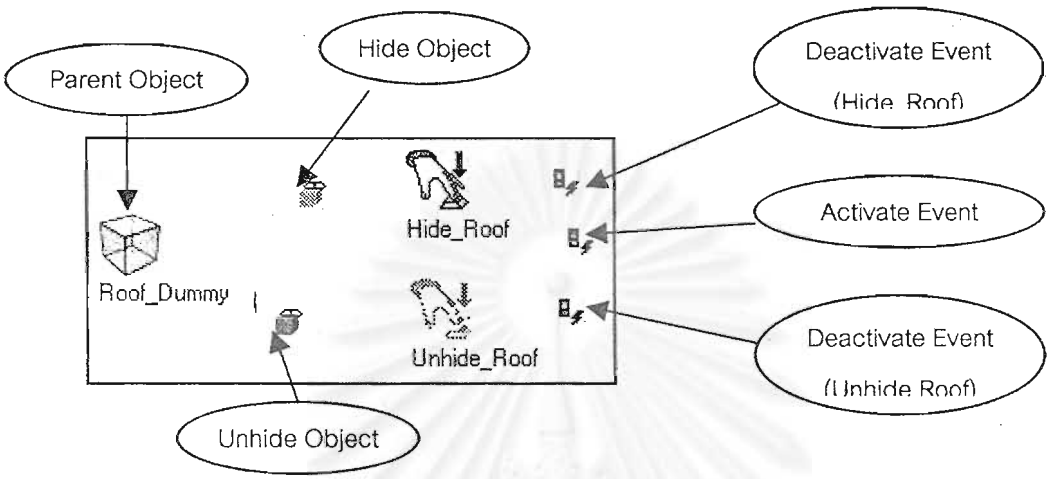
รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
ปุ่ม Rotate_Up	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้เคลื่อนที่ในลักษณะเงยมอง ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 8
ปุ่ม Stop_Rotate_Up	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มเดียวกับปุ่ม Rotate_Up ในที่นี้คือ ปุ่มเลข 8
Rotation XYZ	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ RotationXYZ action / กำหนดค่า X:(V = 15, Time = 3000) , ค่า Y:(V = 0, Time = 3000) ,ค่า Z:(V = 0, Time = 3000) - Detail.../ เลือก Loop
Stop...	-Parameter.../ เลือก Parent ของชิ้นส่วนทั้งหมดในแบบจำลองเสมือนจริง ในที่นี้คือ Cameramaster -Detail.../ เลือก Rotate_UpRotationXYZ

6. การควบคุมการแสดงผลให้มีการแสดงภาพและไม่แสดงภาพ

การควบคุมการแสดงผลให้มีการแสดงภาพและไม่แสดงภาพของวัตถุภายในซอฟแวร์ Cult3D เช่น การซ่อนภาพหรือแสดงภาพข้องพื้นชั้นที่ 2 การซ่อนภาพหรือการแสดงภาพของพื้นชั้นที่ 1 การซ่อนภาพหรือแสดงภาพโครงถัก และการซ่อนภาพและการแสดงภาพของหลังคา เป็นต้น มีหลักการใช้การสร้างเช่นเดียวกัน ในที่นี้เป็นการแสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลให้มีการแสดงภาพและไม่มีการแสดงภาพของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ ค6 ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวมีหลักการทำงานคือเมื่อแบบจำลองเสมือนจริงทำการประมวลผลงานวิจัยนี้กำหนดให้มีการแสดงภาพชิ้นส่วน (Object) ที่มีทั้งหมด เมื่อต้องการควบคุมให้มีการซ่อนภาพ (ในตัวอย่างนี้คือหลังคา) จึงทำการกดปุ่มที่ได้กำหนดไว้ใน Hide_Roof

เมื่อทำการกดปุ่มที่กำหนดไว้ใน Hide_Roof จะมีการสั่งให้มีการทำงาน 3 อย่าง คือ สั่งให้มีการซ่อน Parent Object (หลังคา) สั่งให้ปุ่ม Hide_Roof ไม่ทำงาน และสั่งให้ปุ่ม Unhide Roof ทำงาน

หากต้องการให้มีการแสดงภาพหลังคาอีกครั้ง ทำได้โดยการกดปุ่ม Unhide Roof ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่งให้มีการทำงาน 3 อย่างคือ สั่งให้มีการแสดง Parent Object (หลังคา) สั่งให้ปุ่ม Unhide Roof ไม่ทำงาน และสั่งให้ปุ่ม Hide_Roof ทำงาน



รูปที่ ค6 แสดงตัวอย่างการควบคุมการแสดงผลให้มีการแสดงภาพและไม่มีการแสดงภาพของหลังคา

การสร้างการควบคุมการซ่อนภาพและการแสดงภาพหลังคาสามารถทำได้โดยการนำรูปแบบคำสั่งสำเร็จรูปมาวางดังรูปที่ ค6 และกำหนดคำสั่งสำเร็จรูปต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ ค6

ตารางที่ ค6 แสดงการกำหนดค่าคำสั่งสำเร็จรูปสำหรับควบคุมการซ่อนภาพและการแสดงภาพหลังคา

รายการ	คลิกขวาและทำการกำหนดค่า
ปุ่ม Hide_Roof	-เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้มีการซ่อนภาพ ในที่นี้คือ R,r
ปุ่ม Unhide_Roof	-ไม่เลือก Initial Activation -Parameters.../ เลือกปุ่มที่ต้องการสั่งให้มีการแสดงภาพ ในที่นี้คือ R,r
Hide Object	-Parameter.../ เลือก Roof_Dummy -Detail.../ เลือก Apply to children
Unhide Object	-Parameter.../ เลือก Roof_Dummy -Detail.../ เลือก Apply to children
Deactivate Event (Hide_Roof)	-Parameter.../ เลือก Hide_Roof
Deactivate Event (Unhide Roof)	-Parameter.../ เลือก Unhide_Roof
Activate Event	-Parameter.../ เลือก Hide_Roof และ Unhide_Roof

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมงคล ฉันท์ไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ.2521 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมโยธาจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2542 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย