การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา

พีระพงษ์ แก้วพูลสุข

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา

พีระพงษ์ แก้วพูลสุข

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา"

ของ พีระพงษ์ แก้วพูลสุข

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคา)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล ทรัพย์สมบูรณ์)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ตันรัตนวงศ์)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา

ผู้วิจัย พีระพงษ์ แก้วพูลสุข

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล ทรัพย์สมบูรณ์

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ ปร.ด. วิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565

คำสำคัญ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, แบบจำลองสารสนเทศเมือง, การจัดการทรัพยากรกายภาพ, เมืองอัจฉริยะ, Digital Twin

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับงานวิศวกรรมโยธาก่อสร้าง และจัดการทรัพยากรกายภาพ ขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อรองรับเมืองอัจฉริยะแบบ Digital Twin ทั้งงานอาคาร และโครงสร้างพื้นฐาน บูรณาการแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แบบจำลองบล็อก รูปแบบมาตรฐาน IFC แบบจำลองเสมือนจริง แบบจำลองเมฆจุด ข้อมูลรูปภาพ Computer Aided Or Drawing / Drafting Design (CAD) สองมิติ แบบจำลองสารสนเทศภูมิศาสตร์ รวมถึงแผนที่ฐาน เช่น Google Map และ Bing Map (Microsoft) เชื่อมโยงฐานข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ทั้งกราฟิก และไม่กราฟิกเข้าด้วยกัน ใช้มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นพื้นที่ศึกษา พร้อมทดลองใช้งานด้านวิศวกรรมโยธา ได้แก่ ปรับปรุงอาคาร ติดตามงานก่อสร้าง และจัดการทรัพยากรกายภาพ เพื่อทดสอบการทำงานร่วมกันของข้อมูล ผลการวิจัยปรากฏว่า ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่นำเสนอ สามารถใช้พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งกราฟิก และไม่กราฟิกได้ การเชื่อมโยงฐานข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิสนับสนุนการทำงานร่วมกันเชิงโต้ตอบ และทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ได้เป็นอย่างดี สามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหางานวิศวกรรมโยธา การก่อสร้าง และการทำงานระดับเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Title DEVELOPMENT OF URBAN INFORMATION MODELING FOR FACILITY MANAGEMENT BASED ON CIVIL ENGINEERING WORKS

Author Perapong Kaewpoonsuk

Advisor Assistant Professor Kumpon Subsomboon, Ph.D.

Academic Paper Ph.D. Dissertation in Civil Engineering, Naresuan University, 2022

Keywords Building Information modeling (BIM), Urban Information Modeling (UIM), Facilities Management, Smart City, Digital Twin

ABSTRACT

This research proposes a new methodology for Urban Information Modeling (UIM) for civil engineering, construction, and facility management. Such a methodology was the expansion of the concept of building information modeling (BIM) to support the digital twin smart city operation, covering building and infrastructure works. BIM, block model, industry foundation classes (IFC) model, reality model, point cloud model, raster, 2D Computer Aided or Drawing/Drafting Design (2D CAD), graphic information system (GIS) or digital terrain model (DTM), base maps from providers such as Google Maps and Bing Maps were integrated. Primary and secondary databases, both graphic and non-graphic, were linked to the platform. Naresuan University was utilized as a study area for investigating civil engineering applications such as building maintenance/re-construction, construction monitoring, and facility management (FM), as well as for testing collaboration online. The result showed that the presented UIM methodology could be used in the development of graphical and non-graphical for urban information models. Linking primary and secondary databases could support interactive and online collaborations and could be used as a tool to help plan in civil engineering, construction, and urban works effectively.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาอาจารย์ และอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่ ดูแล ให้ความเมตตา ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณกองอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอาคาร และสิ่งปลูกสร้าง ขอบคุณผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ข้อมูลสัมภาษณ์ ขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี และศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคา ที่คอยเป็นห่วงเป็นใย และให้คำชี้แนะตลอดมา ขอบคุณ ดร.พลปรีชา ชิดบุรี ที่คอยแนะนำให้ความรู้ด้านการสำรวจด้วยอากาศยบานไร้คนขับ ขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ทำงานวิจัย ขอบคุณเพื่อนนิสิตทั้งรุ่นพี่ รุ่นน้องที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอบคุณครอบครัวที่เป็นหลักยึดมั่นให้มีกำลังใจ และคอยสนับสนุน

พีระพงษ์ แก้วพูลสุข

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

ประกาศคุณูปการ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขต 2

1.4 กรอบแนวคิด 5

1.5 คำจำกัดความ และอธิบายศัพท์ 9

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยในอดีต 11

2.1 ทั่วไป 11

2.2 BIM ความหมาย และความเป็นมา 11

2.3 กระบวน BIM 13

2.4 BIM Platforms 14

2.5 การทำงานของ BIM 16

2.6 ประเภทแบบจำลอง 16

2.7 นามสกุล และรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลแอปพลิเคชัน 21

2.8 ระดับพัฒนา 23

2.9 เมืองอัจฉริยะ และองค์ประกอบเมืองอัจฉริยะ 28
2.10 BIM กับการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง และงานวิจัย 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 38
3.1 ทั่วไป 38
3.2 เครื่องมือ และซอฟต์แวร์ที่ใช้วิจัย 38
3.3 วิธีวิจัย 39
บทที่ 4 ผลการวิจัย 49
4.1 ทั่วไป 49
4.2 ผลการพัฒนาแบบจำลอง 49
4.3 ผลการพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง 64
4.4 ผลบูรณาการแบบจำลอง บนแพลตฟอร์ม 69
4.5 ผลการสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ 77
4.6 ผลประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง ด้านงานวิศวกรรมโยธา 82
บทที่ 5 บทสรุป 93
5.1 ทั่วไป 93
5.2 สรุปผลการวิจัย 93
5.3 ข้อเสนอแนะ 102
บรรณานุกรม 104
ภาคผนวก 110
ประวัติผู้วิจัย 124

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 รูปแบบการแลกเปลี่ยนไฟล์ทั่วไป ในแอปพลิเคชัน AEC 21

ตาราง 2 ระดับพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ตามขั้นตอนทำงาน 23

ตาราง 3 ระดับพัฒนาแบบจำลองเมืองสามมิติรูปแบบ CityGML 25

ตาราง 4 เปรียบเทียบความแตกต่าง ของระดับพัฒนารูปแบบมาตรฐานต่าง ๆ 28

ตาราง 5 สรุปข้อมูลที่บรรจุในแบบจำลอง 68

ตาราง 6 สรุปข้อมูลในแฟ้มของแต่ละแบบจำลอง 73

ตาราง 7 ชั้นข้อมูลแบบไม่กราฟิกที่ต้องการในแบบจำลองสารสนเทศ 80

ตาราง 8 รายการปรับปรุงห้อง CE 605 84

ตาราง 9 ผลจัดทำฐานข้อมูลท่อ และบ่อพักน้ำเสีย 114

ตาราง 10 ผลสัมภาษณ์กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ 117

ตาราง 11 บันทึกประวัติรอยชำรุดของถนน 121

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แผนที่พื้นที่ศึกษา 4
ภาพ 2 โมดูลของแบบจำลองสารสนเทศเมือง 6
ภาพ 3 กรอบแนวคิด 7
ภาพ 4 UIM System 8
ภาพ 5 วิวัฒนาการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดย Mark Bew และ Mervyn Richards 14
ภาพ 6 ภาพรวมกายภาพ BIM และเครื่องมือ 15
ภาพ 7 แนวคิดบูรณาการแบบจำลอง 17
ภาพ 8 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 17
ภาพ 9 ตัวอย่างแบบจำลองบล็อก 18
ภาพ 10 ตัวอย่างแบบจำลองเมฆจุดสามมิติ 19
ภาพ 11 ตัวอย่างแบบจำลองเสมือนจริง 20
ภาพ 12 ตัวอย่างความแตกต่างระดับพัฒนารูปแบบมาตรฐาน Blom3D™ 27
ภาพ 13 แบบจำลองย่อย ของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร 30
ภาพ 14 กระบวนทัศน์ Digital Twin 32
ภาพ 15 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศเมืองเฉิงตู 34
ภาพ 16 แบบจำลองสารสนเทศเมืองประเทศสิงคโปร์ (Virtual Singapore) 35
ภาพ 17 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศเมือง กรณีศึกษาต่าง ๆ 36
ภาพ 18 ระเบียบวิธีวิจัย 40
ภาพ 19 วงจรชีวิตอาคาร 48
ภาพ 20 แบบจำลองสารสนเทศอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ 50
ภาพ 21 แบบจำลองสารสนเทศอาคารอุทยานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช 51

ภาพ 22 แบบจำลองสารสนเทศอาคารโรงอาหาร NU Square 52
ภาพ 23 แบบจำลองสารสนเทศอาคารโรงอาหาร NU Square แสดงสิ่งอำนวยความสะดวก..... 52
ภาพ 24 แบบจำลองบล็อก อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร..... 53
ภาพ 25 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์ 53
ภาพ 26 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารคณะเภสัชศาสตร์..... 54
ภาพ 27 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารวิทยาศาสตร์สุขภาพ 54
ภาพ 28 แบบจำลองเสมือนจริงหอพัก มน. นิเวศ 7-12 และ มน. นิเวศ 14-15 55
ภาพ 29 แบบจำลองเสมือนจริงหอพักนิสิตในมหาวิทยาลัยนเรศวร (NU Dorm)..... 55
ภาพ 30 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แสดงท่อ และวัตถุใต้ดิน 56
ภาพ 31 (จากซ้ายไปขวา) แสดงตัวอย่างรูปตัด และรูปขยายของท่อ และบ่อพักน้ำฝน..... 56
ภาพ 32 แบบจำลองเสมือนจริง ถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึงประตู 5 มุมสูง..... 57
ภาพ 33 แบบจำลองเสมือนจริง ถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึงประตู 5 มุมมองคนเดิน 57
ภาพ 34 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ประกอบรูปแบบมาตรฐาน IFC 58
ภาพ 35 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ไฟสัญญาณ และไฟฟ้าส่องสว่าง 59
ภาพ 36 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ป้ายจราจร และเครื่องกั้นแบ่งช่องทางจราจร .. 59
ภาพ 37 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ตะแกรงระบายน้ำ ทางลาดผู้พิการ..... 60
ภาพ 38 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ที่พักคอยรถประจำทาง 60
ภาพ 39 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC สิ่งอำนวยความสะดวกสวนสาธารณะ..... 60
ภาพ 40 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ 61
ภาพ 41 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศอ่างเก็บน้ำ และคลองส่งน้ำ 62
ภาพ 42 แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีผลิตน้ำประปา..... 63
ภาพ 43 แผนที่ฐาน (Raster, Google Maps, Bing Maps, 2D CAD และ Shape file) 64
ภาพ 44 ผลการจัดทำหมวดฐานข้อมูล 65
ภาพ 45 Coding Scrip ไฟล์ Schedule ที่พัฒนาขึ้น..... 66

ภาพ 46 Schedule ข้อมูลปฐมภูมิ อาคารวิศวกรรมโยธา บนแพลตฟอร์ม BIM..... 66
ภาพ 47 ข้อมูลปฐมภูมิอาคารวิศวกรรมโยธา ที่ถูกส่งออกมา Microsoft Excel..... 67
ภาพ 48 ผลบูรณาการแบบจำลองสารสนเทศเมือง..... 71
ภาพ 49 ผลบูรณาการฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง..... 72
ภาพ 50 ร้อยละผู้เชี่ยวชาญสาขาต่าง ๆ ที่สัมภาษณ์..... 78
ภาพ 51 ระยะเวลาใช้งาน ความเกี่ยวข้อง และนโยบายสนับสนุน..... 78
ภาพ 52 ร้อยละการใช้งาน BIM ของผู้เชี่ยวชาญ ในช่วงต่าง ๆ ของงานก่อสร้าง..... 79
ภาพ 53 โครงสร้างข้อมูลที่ไม่ใช่ทางกราฟิก หรือทางเรขาคณิตที่ต้องการสำหรับการ..... 81
ภาพ 54 สภาพห้องกรณีศึกษา..... 82
ภาพ 55 ทดลองใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ปรับปรุงห้องสำนักงาน..... 83
ภาพ 56 ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองบนคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน และแท็บเล็ต..... 85
ภาพ 57 หน้าต่างการทำงานแบบออนไลน์..... 86
ภาพ 58 ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง แบบออนไลน์..... 87
ภาพ 59 ติดตามโครงการก่อสร้างฯ ด้วยระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง..... 89
ภาพ 60 พัฒนาฐานข้อมูลประเมินความเสียหาย และการซ่อมบำรุงถนน..... 90
ภาพ 61 ทดสอบความอัตโนมัติเชิงโต้ตอบ ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก..... 91
ภาพ 62 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ..... 111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันการตั้งถิ่นที่อยู่อาศัยของประชากรโลกมีแนวโน้มย้ายเข้าสู่เขตเมืองมากขึ้น คาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2050 ประชากรโลกจะอยู่อาศัยในเขตเมือง ร้อยละหกสิบแปด ของประชากรทั้งหมด (Department of Economic and Social Affairs of the United Nations., 2018) ทำให้เมืองขยายตัวเพิ่มขึ้น หลายประเทศจึงให้ความสำคัญกับการจัดการเมืองอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะด้านวิศวกรรม โครงสร้างพื้นฐาน และการจัดการทรัพยากรกายภาพ ต้องตระหนักถึงความถูกต้องข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่เดิม หรือก่อสร้างใหม่ เช่น อาคาร ถนน สะพาน แหล่งน้ำ ระบบประปา ระบบระบายน้ำเสีย ระบบสุขาภิบาล การป้องกันภัยพิบัติ สภาพสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นระบบวิศวกรรมที่เกี่ยวเนื่อง และซับซ้อน

ปัจจุบันมีแนวคิดพัฒนา บูรณาการ ทุกองคาพยพของเมือง ที่เรียกว่าเมืองอัจฉริยะ (Smart City) โดยผสมผสานนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ กับสถาปัตยกรรมเมือง ช่วยบริหารจัดการข้อมูลและจัดการเมือง ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถเชื่อมต่อ เข้าถึงข้อมูลง่ายขึ้น แนวคิดเมืองอัจฉริยะเพื่อให้เกิดชุมชนเมืองที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย คุณภาพใช้ชีวิตสูง เป็นเมืองน่าอยู่อาศัย ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เชื่อมโยงกับระบบสาธารณูปโภค และสาธารณูปการพื้นฐานของเมือง ซึ่งอดีตมักก่อสร้างแยกส่วนกัน อาทิ โครงสร้างพื้นฐาน ประปา สุขาภิบาล ไฟฟ้า ระบบคมนามคมขนส่ง ที่สามารถบูรณาการ ทำงานร่วมกัน ตามบริบทของเมืองได้ ภายใต้แนวคิดประสิทธิภาพ (Efficiency) สูงสุด น่าอยู่อาศัย (Livable) และยั่งยืน (Sustainable)

การพัฒนาเมืองอัจฉริยะสู่ความยั่งยืน เป็นเป้าหมายที่สิบเอ็ด ของการพัฒนาอย่างยั่งยืนโลก (Global Goals) (Programme, 2021) ภายใต้ข้อตกลงร่วมกัน ของประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติ (UN) สำหรับประเทศไทย การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ เป็นนโยบายหลัก บรรจุในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561 ถึง 2580) (ประกาศ เรื่อง ยุทธศาสตร์ชาติ (2561-2580). 2561, 13 ตุลาคม) แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564) (ประกาศ เรื่อง แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564). 2559, 30 ธันวาคม) และนโยบายประเทศไทย 4.0

สำหรับการก่อสร้างยุคสี่จุดศูนย์ (Construction 4.0) งานสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง (Architecture, Engineering and Construction - AEC) แบบจำลองสารสนเทศ

อาคาร (Building Information Modeling - BIM) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก และเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อน (NATCHEV, 2019) เพราะเป็นแนวคิดกระบวนจำลอง ในรูปแบบดิจิทัล ที่อาศัยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือ มีเป้าหมายมุ่งเน้นให้เป็นแบบจำลองอัจฉริยะ เป็นศูนย์กลางการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง (เป็นเรื่องที่คนส่วนใหญ่ เจ้าพนักงาน หรือหน่วยงานรัฐ ซึ่งมีหน้าที่กำกับดูแล การก่อสร้าง ผังเมือง สาธารณูปโภค และสาธารณูปการ) โดยมีแนวคิดรวบรวมข้อมูลทุกอย่างที่เกี่ยวข้อง และจำเป็น ไว้ในแบบจำลอง เพื่อให้ทุกส่วนงานสามารถบูรณาการทำงานได้ ตลอดวงจรชีวิตอาคาร (Building life cycle) โดยครอบคลุมตั้งแต่กระบวนเตรียมการ ขั้นตอนการขออนุญาต ออกแบบ วางแผน หาปริมาณงาน ดำเนินการก่อสร้าง จัดการเอกสาร จัดทำฐานข้อมูล จำลองการใช้พลังงาน บริหารจัดการพื้นที่ บำรุงรักษา ฟื้นฟูบูรณะ (Rehabilitation or retrofits) ถึงการรื้อถอนอาคาร

จากการเข้ามามีบทบาทของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ปัญหาการขยายตัวของเมืองและการพัฒนาเมืองไปสู่เมืองอัจฉริยะ ทำให้เกิดแนวคิด ที่เรียกว่า Digital Twin ซึ่งบูรณาการแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สิ่งปลูกสร้าง ระบบสาธารณูปโภค โครงสร้างพื้นฐาน ข้อมูล รวมถึงระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence - AI) และ Internet of Things (IoT) เข้าด้วยกัน เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง หรือ Urban Information Modeling (UIM) ที่มุ่งหวังให้เป็นฐานข้อมูลเมืองแบบดิจิตอล หรือเมืองอัจฉริยะ ที่สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยบูรณาการวางแผนพัฒนาหรือแก้ปัญหาต่าง ๆ ของเมือง โดยเฉพาะปัญหาทางวิศวกรรม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระเบียบวิธีพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก โดยมีแนวคิดมุ่งเน้นให้เป็นแบบจำลองอัจฉริยะ (Intelligent model) ที่สามารถนำข้อมูลในแบบจำลองไปใช้ประโยชน์ร่วมกัน เพื่อเป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการทำงานด้านวิศวกรรมโยธา ก่อสร้าง และการจัดการทรัพยากรกายภาพ ตลอดวงจรชีวิตอาคาร รองรับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ สู่ความยั่งยืนในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพภายใต้งานวิศวกรรมโยธา

1.3 ขอบเขต

1. ประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพ ในงานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง กับพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร (ภาพ 1)

2. มุ่งเน้นเสนอระเบียบวิธีการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง จากการขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก เพื่อให้สนับสนุนการทำงานด้าน การจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง เป็นฐานข้อมูลเมือง

3. พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศทั้งสิ่งปลูกสร้างเก่า และสิ่งปลูกสร้างใหม่ พร้อมบูรณาการเข้าด้วยกัน

4. ใช้แพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ Bentley® Systems, Incorporated ภายใต้ใบอนุญาตของมหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นเครื่องมือพัฒนา

ภาพ 1 แผนที่พื้นที่ศึกษา

1.4 กรอบแนวคิด

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง หากยึดตามองค์ประกอบลักษณะทางกายภาพเชิงวัตถุ และสิ่งปลูกสร้าง ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรม และการก่อสร้างของเมืองโดยทั่วไป จากการทบทวนวรรณกรรมแล้ว ครอบคลุมแปดองค์ประกอบ (ภาพ 2) ดังนี้

1) Building Module : กลุ่มอาคาร ตึก บ้าน เรือน โรง ร้าน แพ คลังสินค้า สำนักงาน วัด ศาสนสถาน โบราณสถาน หรือสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น ซึ่งบุคคลอาจเข้าอยู่ หรือเข้าใช้สอยได้ และหมายความรวมถึงส่วนต่าง ๆ ของอาคาร รั้ว กำแพง และป้าย หรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้ายด้วย

2) Transportation Infrastructure Module : กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคม และการขนส่ง เช่น ถนน ระบบราง สะพาน อุโมงค์ ท่าอากาศยาน ท่าเทียบเรือ ฯลฯ

3) Utility Infrastructure Module : กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานสาธารณูปโภค เช่น ไฟฟ้าส่องสว่าง ประปา น้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย พร้อมโครงข่ายระบบส่งจ่าย ทั้งใต้ดิน และบนดิน เป็นต้น

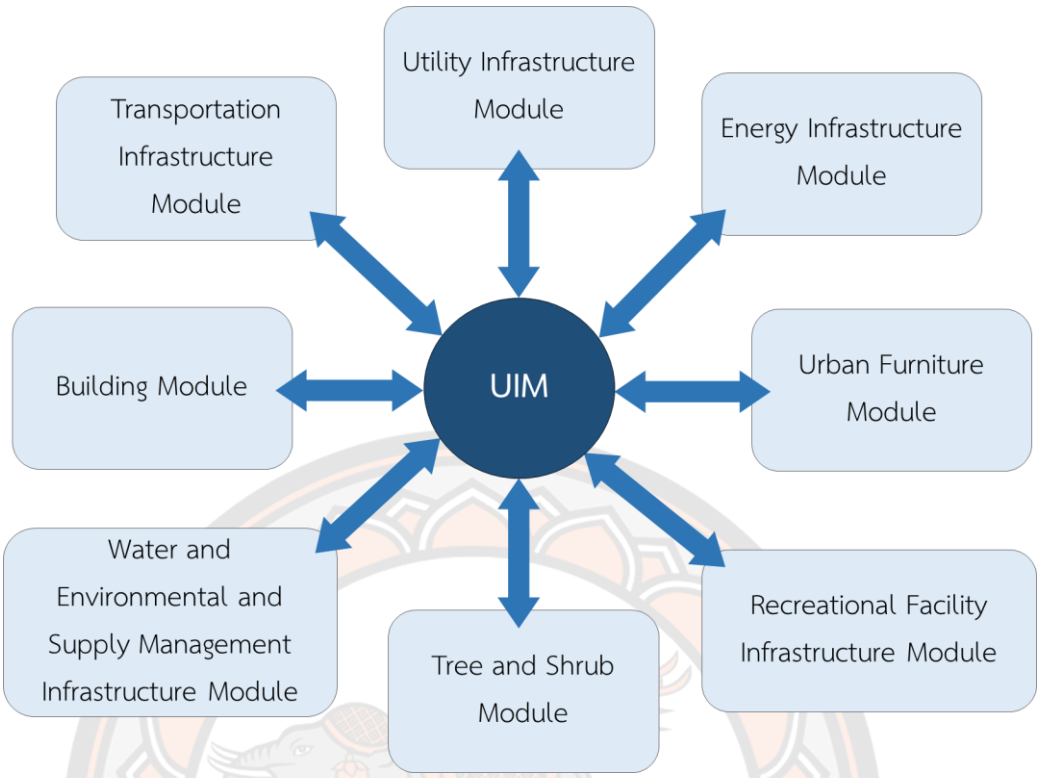
4) Energy Infrastructure Module : กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงาน เช่น เขื่อน หรือโรงกำเนิดไฟฟ้าพลังงานอื่น ๆ อาจรวมสถานีย่อย (Substation) ระดับเมือง สถานีขุดเจาะก๊าซปิโตรเลียม และคลังน้ำมัน ฯลฯ

5) Urban Furniture Module : กลุ่มเฟอร์นิเจอร์ของเมือง เช่น ถังขยะ (Rubbish bin) โต๊ะ เก้าอี้สาธารณะ (Bench) ตู้ไปรษณีย์ น้ำพุ และน้ำดื่ม (Fountain and Drink) ป้ายเตือน ป้ายและสัญญาณไฟจราจร เครื่องออกกำลังกายในสวนสาธารณะ ป้ายหรือที่จอดรถประจำทาง (Bus or car stop / stand / Shed) อุปกรณ์เสริมความปลอดภัย ฯลฯ

6) Recreational Facility Infrastructure Module : กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานสันทนาการ เช่น สวนสาธารณะ สนามกีฬา อัฒจันทร์ พื้นที่สีเขียว งานภูมิสถาปัตย์ ฯลฯ

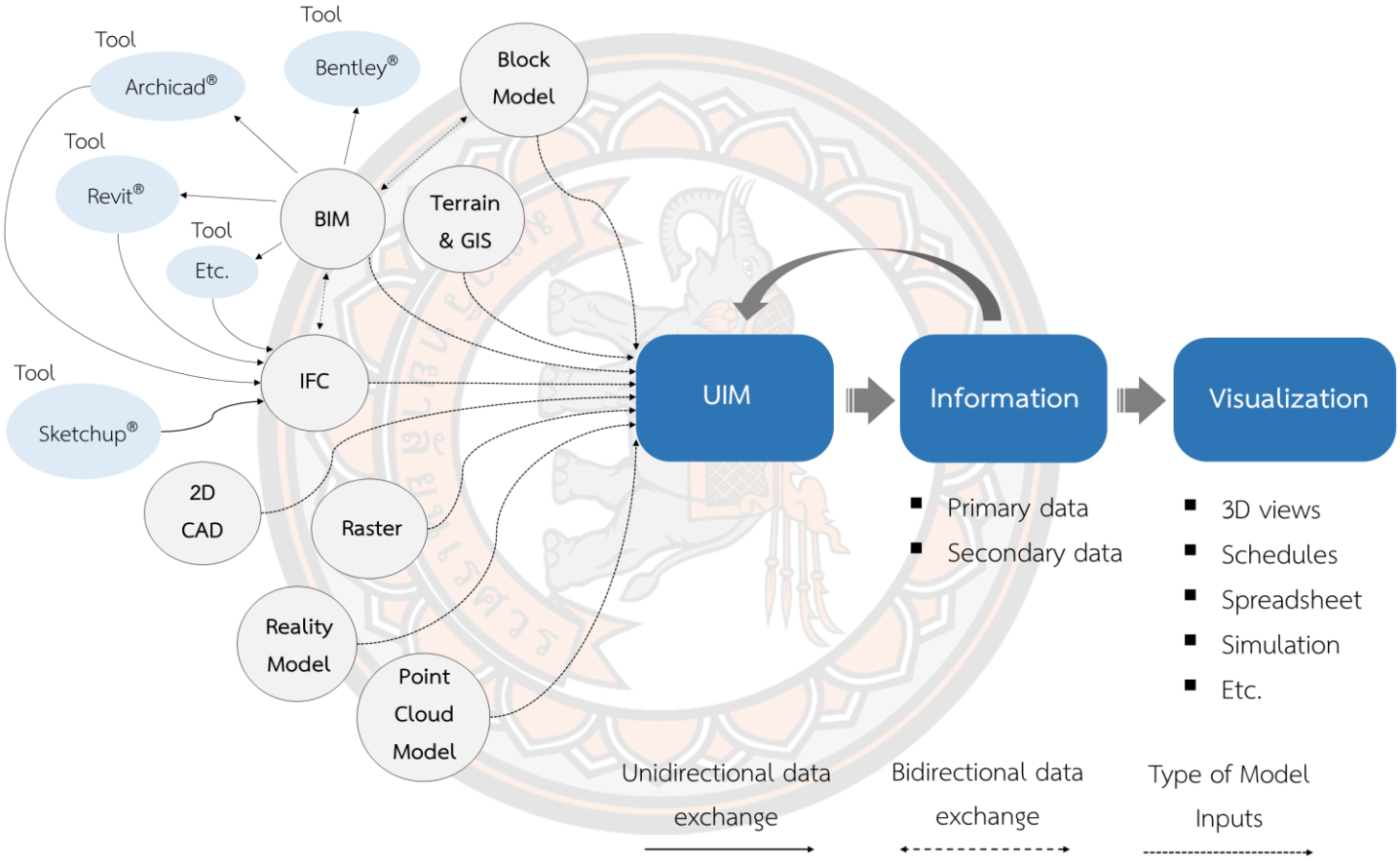
7) Tree and shrub Module : กลุ่มต้นไม้ ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม

8) Water & Environmental and Supply Management Infrastructure Module : กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อม บ่อบำบัดน้ำเสีย และการจัดการน้ำ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฝาย แม่น้ำ ลำคลอง กำแพงกันดิน เขื่อนป้องกันตลิ่ง โรงกรองน้ำ ฯลฯ

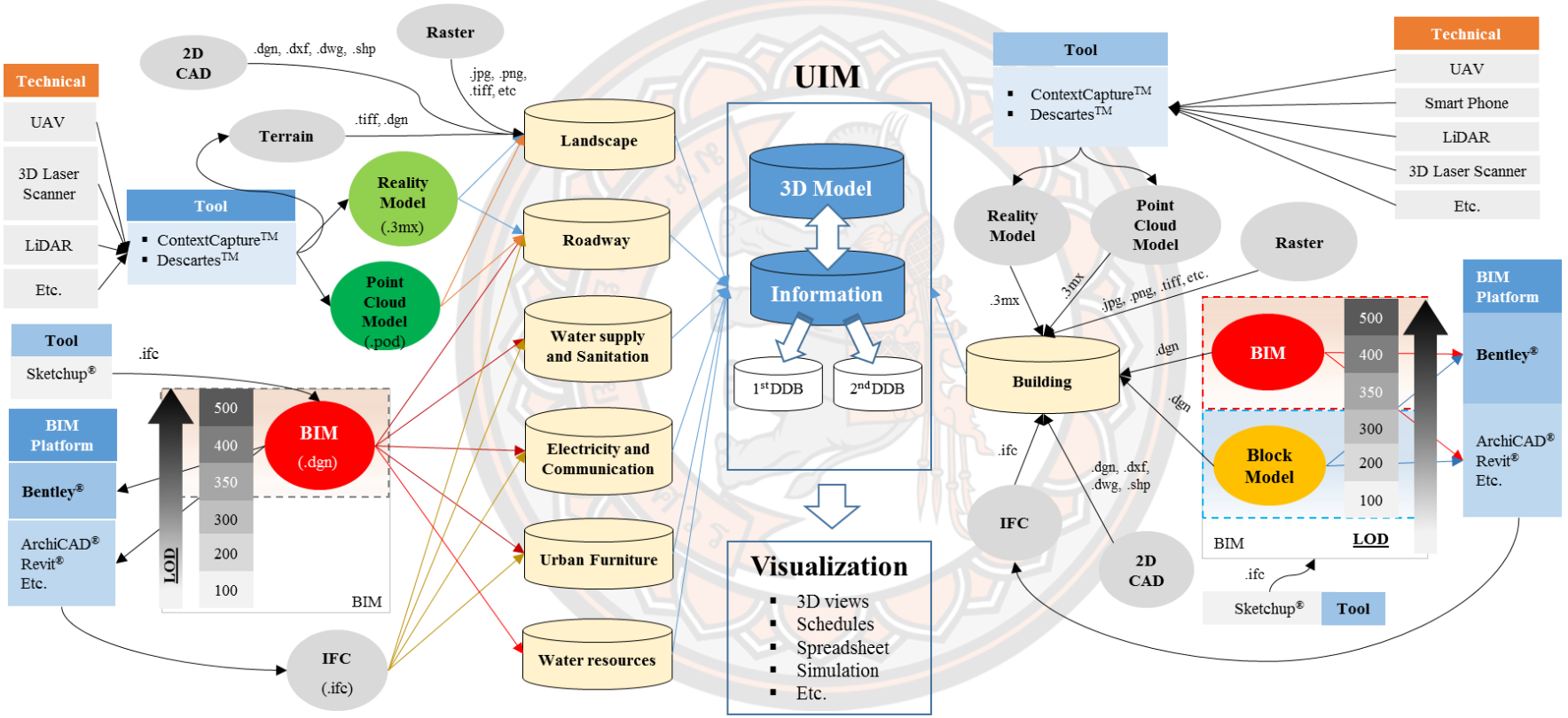


ภาพ 2 โมดูลของแบบจำลองสารสนเทศเมือง

ดังนั้น การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง จึงต้องใช้วิธีการที่หลากหลาย เพื่อให้ครอบคลุมองค์ประกอบต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านข้อมูล ที่ต้องสามารถใช้งานร่วมกันได้ เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผลจากการขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เพื่อที่เข้ามามีบทบาทในการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง อย่างมาก ทำให้นำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง หรือ Urban Information Modeling (UIM) ซึ่งประกอบด้วยคำ สองคำ คือ Information (ข้อมูล) กับ Modeling (แบบจำลอง) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเป็นการเสนอ ระเบียบวิธีการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งส่วนข้อมูล และส่วนแบบจำลอง โดยทดลองพัฒนา และบูรณาการแบบจำลองประเภทต่าง ๆ ตามที่รวมรวบได้ ได้แก่ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM Model), แบบจำลองบล็อก (Block Model), แบบจำลองเมฆจุดสามมิติ (Point Cloud Model), แบบจำลองเสมือนจริง (Reality Model), แบบจำลองภูมิศาสตร์สามมิติ (Digital Terrain Model), ข้อมูลภาพ (Raster), รูปแบบมาตรฐาน IFC และ Computer Aided Or Drawing / Drafting Design) สองมิติ (2D CAD) ตามการขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร พร้อมกระบวนทำงานด้านข้อมูล ที่อยู่บนแบบจำลอง สำหรับการทำงานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง (ภาพ 3 และภาพ 4) ตามลำดับ



ภาพ 3 กรอบแนวคิด



ภาพ 4 UIM System

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (Local Administration Officer) ในฐานะเจ้าของเมือง หรือพื้นที่ แบบจำลองสารสนเทศเมือง (กรณีสิ่งปลูกสร้างใหม่) ดังกล่าว ได้มาจากผู้ก่อสร้าง (โครงการที่ดำเนินงานก่อสร้างเอง) เนื่องจากในปัจจุบัน การกำหนดสัญญาก่อสร้าง ระหว่างเจ้าของงาน และผู้รับจ้าง (ทั้งงานเอกชน และงานราชการ) มักระบุความต้องการ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือแบบจำลองโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ที่กำหนดให้ส่งมอบแบบจำลอง พร้อมการส่งมอบงาน หรือปิดโครงการ แต่หากเป็นโครงการที่ดำเนินการก่อสร้างด้วยหน่วยงานอื่น การได้มาซึ่งแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ได้จากขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้าง ที่กำหนดให้ ผู้ใดจะก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน ถอนอาคาร ต้องยื่นเอกสาร แผนผังบริเวณ แบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณ

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับสิ่งปลูกสร้างเก่า สามารถพัฒนาแบบจำลองบล็อก และแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้จากแบบแปลนที่เคยอนุญาตให้ก่อสร้าง และจัดเก็บควบคู่กับการพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง ที่ได้จากการเทคนิคการสำรวจต่าง ๆ เพื่อให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง โดยร่วมกับแบบจำลองประเภทอื่น เช่น 2D CAD, รูปแบบมาตรฐาน IFC, แบบจำลองทางภูมิประเทศสามมิติ และข้อมูลไฟล์สแกนแผนที่ต่าง ๆ นำไปสู่การแสดงผล (ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก) และประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง ครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ ช่วงก่อนการก่อสร้าง (Pre-Construction) เช่น แบบร่างอาคาร ออกแบบ ประมาณราคา เอกสารประมูล สัญญา ช่วงก่อสร้าง (Construction) (คู่สัญญาผู้ก่อสร้าง กับผู้ว่าจ้าง) เช่น เอกสารแสดงรายการวัสดุและค่าใช้จ่าย (BOQ) แผนงาน การเบิกจ่าย งานเพิ่มลด As-Built Drawing และช่วงหลังการก่อสร้าง (Post-Construction) เช่น บำรุงรักษา รื้อถอน เพื่อเสนอขั้นตอนการทำงาน มุ่งหวังให้ระเบียบวิธีการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองนี้สามารถนำไปใช้กับ เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย โครงการบ้านจัดสรร โครงการแหล่งที่พักอาศัย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ชุมชน หมู่บ้าน หรือโครงการพัฒนาพื้นที่ต่าง ๆ ได้

1.5 คำจำกัดความ และอธิบายศัพท์

คำจำกัดความ และคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ดังนี้

BIM (Building Information Modeling) หมายถึง แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือแบบจำลองที่พัฒนาจากชิ้นส่วนอัจฉริยะ

UIM (Urban Information Modeling) หมายถึง แบบจำลองสารสนเทศเมือง

แบบจำลองอัจฉริยะ หมายถึง Parametric Model ที่พัฒนาในระดับ Object สามารถระบุข้อมูลลงในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุได้ ได้แก่ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แบบจำลองบล็อก และแบบจำลองที่อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน IFC (Industry Foundation Classes)

แบบจำลองไม่อัจฉริยะ หมายถึง Non-Parametric Model แบบจำลองที่ไม่สามารถระบุข้อมูลลงในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุได้ ได้แก่ Reality Model, Point Cloud Model, Digital Terrain Model, Raster และ 2D CAD

สิ่งปลูกสร้าง หมายถึง บ้าน ตึก อาคาร โรง เรือน ร้าน แพ สำนักงาน หรือสิ่งปลูกสร้างอื่น ที่บุคคลสามารถเข้าอยู่ หรือใช้สอยได้ หรือใช้เป็นที่เก็บสินค้า หรือประกอบการอุตสาหกรรม หรือพาณิชยกรรม ซึ่งรวมถึง ระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ด้วย

สิ่งปลูกสร้างใหม่ หมายถึง บ้าน ตึก อาคาร โรง เรือน ร้าน แพ สำนักงาน หรือสิ่งปลูกสร้างอื่น ที่บุคคลสามารถเข้าอยู่ หรือใช้สอยได้ หรือใช้เป็นที่เก็บสินค้า หรือประกอบการอุตสาหกรรม หรือพาณิชยกรรม ซึ่งรวมถึง ระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่มีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือมีข้อมูลแบบแปลนอื่นครบถ้วน พอที่จะพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้

สิ่งปลูกสร้างเก่า หมายถึง บ้าน ตึก อาคาร โรง เรือน ร้าน แพ สำนักงาน หรือสิ่งปลูกสร้างอื่น ที่บุคคลสามารถเข้าอยู่ หรือใช้สอยได้ หรือใช้เป็นที่เก็บสินค้า หรือประกอบการอุตสาหกรรม หรือพาณิชยกรรม ซึ่งรวมถึง ระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ไม่มีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือไม่มีข้อมูลแบบแปลนพอที่จะพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้

โครงสร้างพื้นฐาน หมายถึง ระบบสาธารณูปโภค สาธารณูปการ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐานต่าง ๆ เช่น ถนน สะพาน ทางเดินเท้า ชลประทาน ไฟฟ้า ประปา จัดการน้ำเสีย โทรคมนาคม การจัดการขยะ การบริการขนส่งสาธารณะ หรืออื่น ๆ ที่ภาครัฐบริการแก่ประชาชน

ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) หมายถึง แบบจำลอง หรือชิ้นส่วนวัตถุ หรือข้อมูลที่ติดมากับชิ้นส่วนวัตถุ (Object) รวมถึงข้อมูลที่เพิ่มขึ้นภายหลัง ที่ระบุอยู่ในชิ้นส่วนวัตถุ และถูกจัดเก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล (Workspace) ของซอฟต์แวร์ อาจอยู่ในรูปตารางแอตทริบิวต์ หรืออื่น ๆ

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) หมายถึง ข้อมูลภายนอก ที่นำมาเชื่อมต่อกับแบบจำลอง ได้แก่ ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ เช่น พิมพ์เขียว เอกสารสัญญา เอกสารการรับประกันผลงาน บัญชีแสดงปริมาณงาน และวัสดุ รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุ ผู้ผลิต สถิติการใช้พลังงาน ภาพถ่ายอาคาร หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยในอดีต

2.1 ทั่วไป

บทนี้กล่าวถึง แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ความหมาย ความเป็นมา วิวัฒนาการ กระบวนการทำงาน แพลตฟอร์ม ประเภทแบบจำลอง ระดับพัฒนา นามสกุล และรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลแอปพลิเคชัน Digital Twin เมืองอัจฉริยะ และองค์ประกอบเมืองอัจฉริยะ ตลอดจนงานวิจัยในอดีต และอื่น ๆ

2.2 BIM ความหมาย และความเป็นมา

มีผู้อธิบาย และให้ความหมายเกี่ยวกับ BIM ไว้หลากหลาย ทั้งส่วนผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ นักวิจัย หรือองค์กรกลาง ที่มีหน้าที่ออกมาตรฐาน กำกับดูแลการทำงานของ BIM ของประเทศต่าง ๆ ซึ่งขอกล่าวเฉพาะส่วนที่มีชื่อเสียง และมีผู้นิยมกล่าวถึง เช่น

National BIM Standard (NBIMS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา อธิบายว่า BIM คือ กระบวนวางแผนที่ดีขึ้น สำหรับการออกแบบ ก่อสร้าง ดำเนินการ และบำรุงรักษา โดยใช้มาตรฐานที่คอมพิวเตอร์สามารถอ่านข้อมูลจากแบบจำลอง ไม่ว่าจะเป็นอาคารใหม่ หรืออาคารเก่า ซึ่งมีข้อมูลที่เหมาะสม ที่สร้างขึ้นหรือรวบรวม เกี่ยวกับอาคารนั้น ๆ ไว้ในรูปแบบที่ทุกคนใช้ร่วมกันได้ ตลอดวงจรชีวิต ประกอบด้วยสามส่วน ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์ 2) ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ มีมาตรฐานที่เปิดบนพื้นฐานของการให้ได้ส่งงาน และการทำงานร่วมกัน และ 3) ความต้องการ หรือข้อกำหนด ของการจัดการวงจรชีวิตอาคาร หรือสิ่งอำนวยความสะดวก (Rafael Sacks, 2018)

NBS National BIM Library สหราชอาณาจักร อธิบายว่า BIM คือ กระบวนสร้าง และจัดการข้อมูลการก่อสร้างตลอดวงจรชีวิตของอาคาร ส่วนหนึ่งของกระบวนการนี้ ทุกอย่างที่พัฒนาขึ้นจะมีคำอธิบายแบบดิจิทัลที่ใช้สำหรับเชื่อมโยงการทำงาน โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ลักษณะคล้ายแบบจำลองสามมิติ ที่มีโครงสร้างข้อมูลแบบดิจิทัลรวมอยู่ เช่น ข้อมูลผลิตภัณฑ์ การดำเนินการ และข้อมูลการส่งมอบงาน (Hamil, 2021)

Chuck Eastman (2018) ได้ให้นิยามว่า BIM คือ เทคโนโลยีทางแบบจำลอง และเป็นกระบวนการที่มีส่วนเกี่ยวกับการผลิต สื่อสาร และวิเคราะห์อาคาร ย่อจาก Building Information Modeling เน้นด้านกระบวนข้อมูลมากกว่าโมเดล วัตถุต่าง ๆ ของกระบวนการ BIM ต้องมีลักษณะคือ 1) Building Components ที่แสดง เป็นแบบวัตถุดิจิทัลที่มีแอตทริบิวต์เชิงกราฟิก มีข้อมูลที่ใช้

คำนวณได้ สามารถระบุองค์ประกอบเหล่านี้ไปยังแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ ตลอดจนกฎเกณฑ์ที่อนุญาตให้จัดการในรูปแบบอัจฉริยะได้ 2) Components ต่าง ๆ ต้องมีข้อมูลที่เอื้อลักษณะการทำงาน ตามความต้องการ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์และกระบวนทำงาน เช่น คำนวณปริมาณงาน ข้อมูลเฉพาะรายการ และวิเคราะห์พลังงาน และ 3) ข้อมูลสม่ำเสมอ ไม่ซ้ำซ้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใน Components ไม่ว่าจะมุมมองใด จะส่งผลถึงทุกมิติของ Components นั้น ๆ ด้วย

กล่าวโดยสรุป ได้ว่า BIM เกิดจากคำสองคำ คือ แบบจำลองอาคาร กับคำว่า ข้อมูล ซึ่งนำมารวมกันแล้วหมายถึง กระบวนแบบจำลองสามมิติ ที่มีรูปแบบดิจิทัล มีข้อมูลระบุไว้ในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุ มีระเบียบแบบแผน มุ่งเน้นให้มีความอัจฉริยะ สามารถใช้เป็นศูนย์กลาง สำหรับการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ตลอดวงจรชีวิตอาคารได้ ตั้งแต่กระบวนออกแบบ ก่อสร้าง บริหารจัดการ บำรุงรักษา ถึงการรื้อถอน โดยอาศัยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์ และสนับสนุนการทำงานร่วมกันบนฐานข้อมูลดิจิตอล

BIM Model เป็นแบบจำลองเชิงพาราเมตริก (Parametric Models) คือ แบบจำลองที่สามารถปรับเปลี่ยน แก้ไของค์ประกอบของแบบจำลองนั้น จากค่าตัวแปร (Parameter) ได้โดยตรง โดยตัวแปรนั้นยังสามารถควบคุมด้วยการคำนวณ และสมการ อาศัยการทำงานร่วมกันของ Object-based product model และ Object based parametric model ที่ประกอบด้วยหลาย ๆ วัตถุ ในแต่ละวัตถุเป็นวัตถุอัจฉริยะ (Intelligent Object) ประกอบด้วยหลาย ๆ ชิ้นส่วน ทั้งแบบทั่วไป (Generic) และแบบไม่ทั่วไป (Non-Generic) มีแอตทริบิวต์สำหรับเก็บข้อมูล ทั้งที่กราฟิก และไม่กราฟิก ที่เชื่อมโยงการทำงานกันทุกมิติ

จุดเริ่มต้นของการสร้างแนวคิด BIM เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1974 โดย Chuck Eastman ได้จัดทำเอกสาร ชื่อ An Outline of the Building Description System Pesearch Report No.50 นำเสนอแนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างแบบ Parametric Solid Modeling ด้วยภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่สามารถปรับเปลี่ยน แก้ไของค์ประกอบของแบบจำลอง จากค่าตัวแปร (Parameter) ได้โดยตรง และมีแนวคิดพยายามรวบรวมข้อมูลไว้ในองค์ประกอบของแบบจำลองนั้น (Eastman, 1974)

ในช่วงแรก ปี ค.ศ.1980 ระบบการทำงานในรูปแบบ Object-based Parametric Modeling ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการออกแบบ จึงเป็นจุดเริ่มต้นใหม่ของการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับการทำงานด้านสามมิติแบบ Object-based Product Model และในปี ค.ศ. 1987 Object-based Parametric Modeling ได้ถูกใช้งานร่วมกับ Object-based Product Model ซึ่งในขณะนั้นต่างเรียกแนวคิด หรือกระบวนการนี้ต่างกันไป เช่น Fully Integrated and Automated Project Process (FIAPP) จนกระทั่งคำว่า BIM ปรากฏครั้งแรกในปี ค.ศ.1992 โดย

G.A. van Nederveen และ F.P. Tolman เป็นผู้นำเสนอ และกลายเป็นที่ยอมรับ และตกลงใช้ร่วมกันระหว่างผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ทั้งหลาย (Van Nederveen & Tolman, 1992) และได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์เรื่อยมา จนกระทั่งปี ค.ศ.2000 BIM ได้เข้ามามีอิทธิพลต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอย่างมาก ถือเป็นยุคการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรม AEC อย่างแท้จริง ที่มีการนำ BIM ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีนัย (Bergin, 2012)

2.3 กระบวน BIM

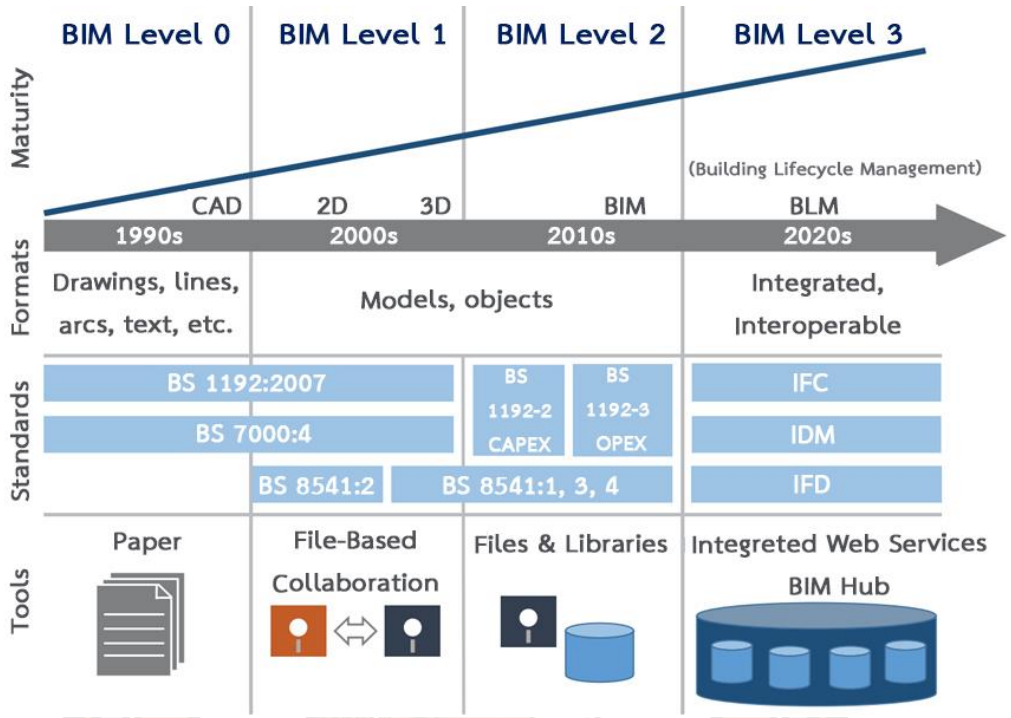
กระบวน BIM คือ การกำหนดลักษณะระดับความก้าวหน้า ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการก่อสร้าง ผ่านแบบจำลอง ที่แสดงออกถึงระดับการทำงานร่วมกันในกระบวนตลอดจนระดับความซับซ้อนของการใช้เครื่องมือแต่ละชนิด ซึ่ง UK Government BIM Task Group ได้แบ่งกระบวนการทำงานของ BIM เป็นระดับ (ภาพ 5) รายละเอียด ดังนี้

BIM ระดับศูนย์ กำหนดให้เป็นแบบสองมิติ (2D CAD) ใช้วิธีแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบดั้งเดิมเป็นลักษณะกระดาษ พิมพ์เขียว หรือในบางกรณีใช้ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ (PDF) โดยแยกแหล่งที่มาของข้อมูลชัดเจน และครอบคลุมทุกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

BIM ระดับหนึ่ง ประกอบด้วยแบบสามมิติ (3D CAD) สำหรับการวางกรอบแนวคิด และใช้แบบสองมิติ สำหรับการจัดทำแบบก่อสร้าง ยื่นขออนุญาตตามขั้นตอนกฎหมาย การแบ่งปันข้อมูลจะดำเนินการตามสภาพของข้อมูล (Common Data Environment - CDE) ซึ่งมักจะจัดการโดยผู้ก่อสร้าง และแบบสามมิติดังกล่าว จะไม่ถูกใช้ร่วมกันระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ

BIM ระดับสอง การทำงานของแต่ละฝ่ายใช้โมเดลสามมิติของตนเอง ไม่ได้ทำงานในโมเดลที่ใช้ร่วมกัน แต่การทำงานร่วมกัน มาในรูปแบบข้อมูล ที่แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ลักษณะไฟล์ทั่วไป จึงทำให้องค์กรสามารถรวมข้อมูลทั้งหมดได้ จึงเป็นที่มาของการพัฒนา BIM แบบรวมศูนย์ ซอฟต์แวร์ CAD ใด ๆ ที่แต่ละฝ่ายใช้ ต้องสามารถส่งออกเป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไป เป็นกลางได้ เช่น รูปแบบมาตรฐาน IFC

BIM ระดับสาม แสดงการทำงานร่วมกันอย่างเต็มรูปแบบ ระหว่างผู้เกี่ยวของทั้งหมดทุกสาขา ด้วยแบบจำลองเดียว และถูกจัดเก็บไว้ที่ส่วนกลาง (Cloud storage) ทุกฝ่ายสามารถเข้าถึงปรับเปลี่ยน แก้ไขได้ (ต้องผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง และได้รับอนุญาตจากผู้ดูแลก่อน) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงการขัดแย้งกันของข้อมูลได้ โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า Open BIM



ภาพ 5 วิวัฒนาการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดย Mark Bew และ Mervyn Richards

ที่มา : ปรับปรุงจาก PAS 1192-2 : 2013 (BSI, 2013) and BS 1192-4 : 2014 (BSI, 2014a) ปรากฏใน Chuck Eastman (2018)

อย่างไรก็ตาม ด้วยกระบวนการที่หลากหลายของ BIM ทำให้ต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจใช้ซอฟต์แวร์ หรือแพลตฟอร์ม (Platform) ที่ต่างกัน

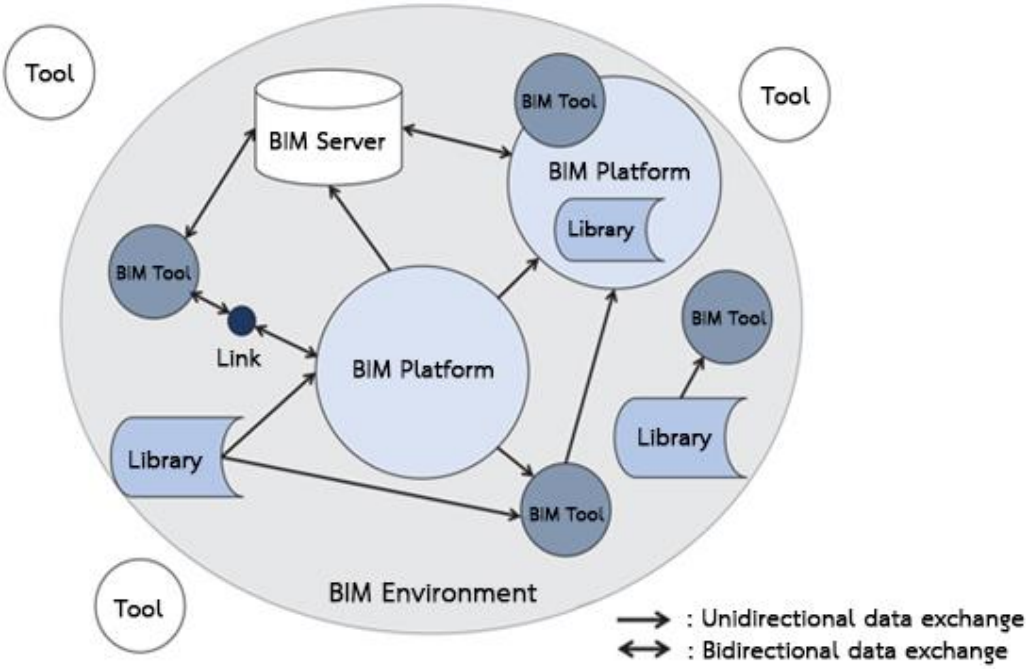
2.4 BIM Platforms

BIM Platforms ที่ใช้ในปัจจุบัน มีหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้ตอบโจทย์การทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง เช่น สถาปนิกเน้นฟังก์ชันการจำลองรูปทรงอาคาร การเขียนแบบ วิศวกรเน้นการจัดการข้อมูล วิเคราะห์ ออกแบบโครงสร้าง การจัดการพลังงาน และงานระบบ ผู้ก่อสร้างเน้นประสานงานก่อสร้าง สำหรับแสดงรายละเอียด และจัดการสิ่งอำนวยความสะดวกหลังการก่อสร้าง (รูป 6) ประกอบด้วย

1. BIM Platform เป็นตัวหลักที่ใช้สร้างข้อมูล หรือชิ้นส่วนของแบบจำลองแบบพารา เมตริก ที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น Revit®, ArchiCAD®, OpenBuilding™ Designer, Tekla® Structures, Vectorworks® ฯลฯ มักรวมอินเตอร์เฟซไลบรารี การทำงานไว้ภายใน

2. BIM Tool เป็นเครื่องมือสนับสนุนการทำงาน รับ ส่ง ประมวลผลข้อมูล ที่อยู่ภายในแพลตฟอร์มเดียวกัน เช่น เครื่องมือสำหรับ จัดทำข้อกำหนด (Specification generation) การประมาณราคา (Cost estimation) ตารางกำหนดเวลา (Scheduling) และ Excel-based engineering

3. BIM Environment เป็นชุดแอปพลิเคชัน หรือชุดคำสั่งที่ใช้สนับสนุนการเชื่อมโยงข้อมูลของกระบวนการต่าง ๆ ในโครงการ หรือองค์กร รวมถึง Tool, Platform, Server และ Work Flows ต่าง ๆ ด้วย



ภาพ 6 ภาพรวมกายภาพ BIM และเครื่องมือ

ที่มา : Chuck Eastman (2018)

ปัจจุบันมีแพลตฟอร์มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม AEC ทั่วโลกมากมาย แต่สำหรับการวิจัยนี้กล่าวเฉพาะแพลตฟอร์ม Bentley® System เท่านั้น

Bentley® System เป็นแพลตฟอร์มที่เน้นการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง เปิดตัวซอฟต์แวร์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1980s ชื่อ MicroStation™ และพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนมาเป็นซอฟต์แวร์ชื่อ OpenBuildings™ Designer ซึ่งเป็น BIM Software แบบเต็มรูปแบบ เน้นเป็นศูนย์กลางการทำงานด้านการออกแบบอาคาร โครงการขนาดใหญ่ ซับซ้อน รองรับไฟล์ได้หลากหลายนามสกุล รวมถึงสามารถเชื่อมโยงการทำงานกับ Microsoft Office และ Primavera เพื่อการทำงานด้านแผนงาน การจำลองสถานการณ์สี่มิติอีกด้วย

นอกจากนี้ Bentley® System ยังมีผลิตภัณฑ์เด่น ที่สนับสนุนการทำงานด้าน Photograms ได้แก่ ContextCapture™ OpenCities™ Maps และ OpenCities™ Planner ที่สนับสนุนบูรณาการทำงานด้านการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง พร้อมด้วยผลิตภัณฑ์อื่น ๆ (ประมาณ 40 ผลิตภัณฑ์) ที่ครอบคลุมการงานด้านอุตสาหกรรม ACE ที่สามารถเชื่อมโยงการทำงานกันได้ทั้งหมดบนแพลตฟอร์มเดียวกัน (System, 2022)

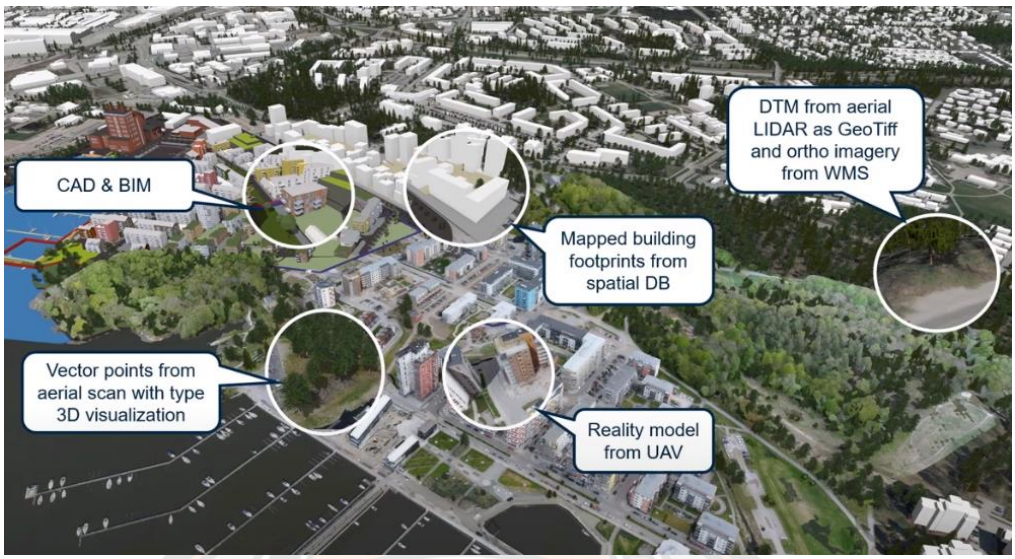
2.5 การทำงานของ BIM

มิติการทำงานของ BIM (Dimension of BIM) แบ่งลักษณะตามการทำงานได้หกมิติ หรือเจ็ด ประกอบด้วย มิติหนึ่ง-สอง-สาม คือ แบบจำลองสามมิติที่มีข้อมูลรวมอยู่ด้วยกัน เรียกว่า BIM โมเดล มิติสี่ คือ แบบจำลองที่สัมพันธ์กับเวลา (Time Series) เช่น การวางแผนก่อสร้าง มิติห้า คือ การใช้งานแบบจำลองคำนวณปริมาณวัสดุ และราคา และ มิติหก คือ แบบจำลองการใช้เฉพาะข้อมูลอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความยั่งยืน เช่น การใช้พลังงาน บริหารทรัพยากรอาคาร บางแหล่งข้อมูล แยกเป็นมิติหก และมิติเจ็ด

อย่างไรก็ตาม ในแต่ละมิติของกระบวนจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถถ่ายโอน และพัฒนาเพื่อใช้ระดับเมือง ซึ่งโดยรวมแล้วกล่าวถึงความยั่งยืน ซึ่งถือว่าเป็นมิติที่แปด (หรืออาจเป็นเจ็ด) ที่รวมการรื้อถอนอาคาร และการจัดการของเสีย

2.6 ประเภทแบบจำลอง

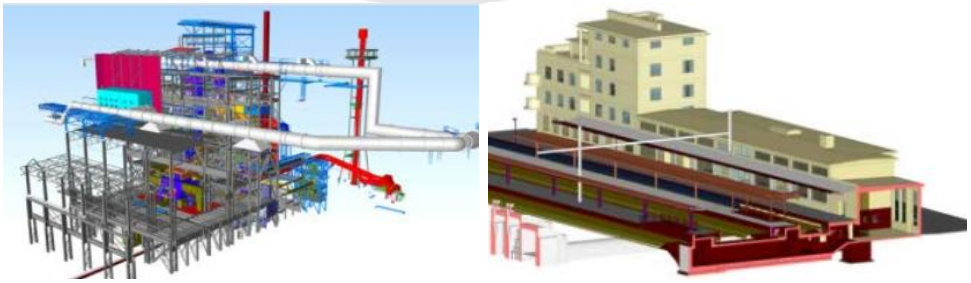
ประเภทแบบจำลองที่เป็นสากล และนิยมใช้ในปัจจุบัน ตามกรอบแนวคิด BIM เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ตามที่ Bentley Advancing Infrastructure (2020) เสนอ (ภาพ 7) และจากทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติม จำแนกได้แปดประเภท ตามลักษณะที่มาข้อมูล ดังนี้



ภาพ 7 แนวคิดบูรณาการแบบจำลอง

ที่มา : OpenCities Planner (2019)

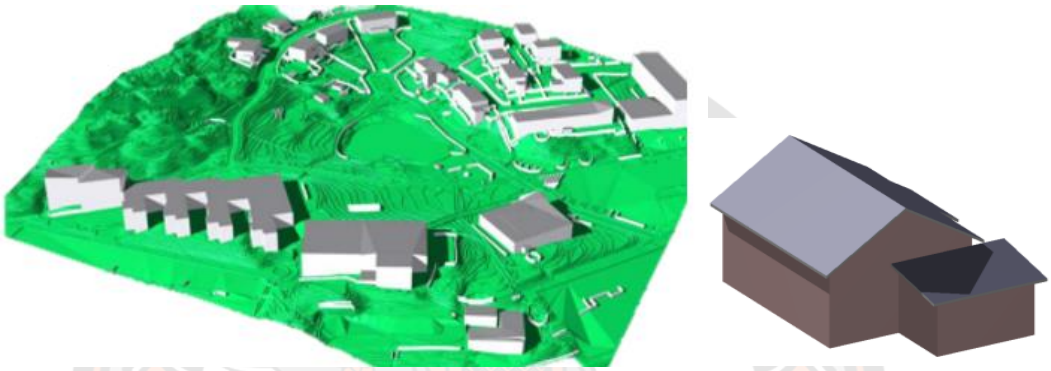
1. แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือ BIM Model เป็นแบบพาราเมตริกโมเดล ถูกพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ในระดับชิ้นส่วน นามสกุลไฟล์จัดอยู่ในประเภท 3D Surface and Shape Formats มีความละเอียดแตกต่างกันไป ตามระดับพัฒนา สำหรับในส่วนนี้ หมายถึง แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ที่พัฒนาด้วยระดับ LOD 350 ขึ้นไป มีองค์ประกอบของข้อมูลทั้งกราฟิก และไม่ใช่กราฟิก ตามนิยามระดับพัฒนาในระดับดี สามารถนำไปใช้งานด้านการก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุง รวมถึงการเชื่อมต่อของระบบอื่น ๆ ทั้งภายนอก และภายในอาคาร (ภาพ 8)



ภาพ 8 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา : Bentley Advancing Infrastructure (2019)

2. แบบจำลองบล็อก (Block Model) เป็นแบบจำลองเชิงพาราเมตริก มีนามสกุลไฟล์จัดอยู่ในประเภท 3D Surface and Shape Formats เช่นเดียวกับ BIM Model อาจกล่าวได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของ BIM Model แต่แตกต่างกันที่ระดับพัฒนา คือ แบบจำลองบล็อกเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ที่มีระดับพัฒนาต่ำ (LOD 100-300) รายละเอียดน้อย มักใช้วิธี Mapsped Building Footprints From Spatial Data Base ในการพัฒนาแบบจำลอง เน้นตำแหน่ง ขนาด และรูปร่างของอาคารเป็นหลัก ยังไม่มีข้อมูลเชื่อมโยงมากนัก (ภาพ 9)



ภาพ 9 ตัวอย่างแบบจำลองบล็อก

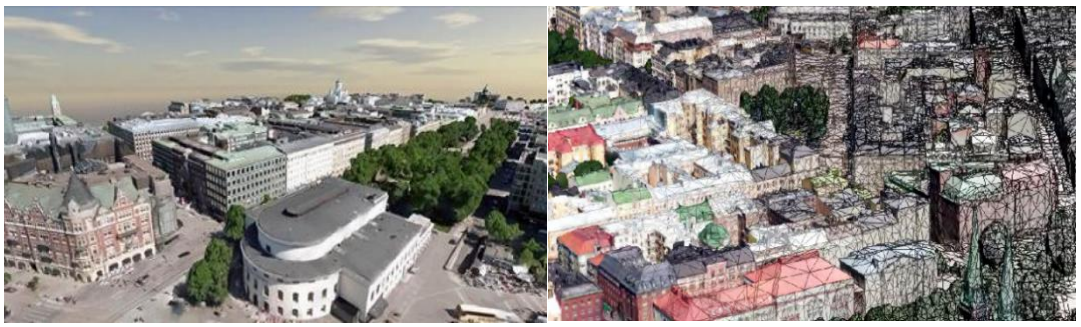
ที่มา : Peter Byrn. (2005)

3. แบบจำลองเมฆจุดสามมิติ (Point Cloud Model) เป็นกลุ่มจุดสามมิติ เก็บค่าของตำแหน่งของขอบวัตถุในพิกัด โดยอาศัยหลักการ Photograms ได้จากการเก็บข้อมูลด้วย Laser Scanner อากาศยานไร้คนขับ การถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ รวมถึงเทคโนโลยีการถ่ายภาพอื่น ๆ และถูก Generate ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (ภาพ 10)

ภาพ 10 ตัวอย่างแบบจำลองเมฆจุดสามมิติ

ที่มา : LARKI (2023)

4. แบบจำลองเสมือนจริง (Reality Model) เป็นอีกหนึ่งแบบจำลอง ที่สนับสนุนการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง ที่ให้ความเสมือนจริง ทั้งพื้นผิว รูปทรง ขนาด และสี มีสองลักษณะ คือ แบบจำลองเสมือนจริงที่เกิดจากการ Rendering ตามการตั้งค่าในไลบารี่ของซอฟต์แวร์ และแบบจำลองเสมือนจริงที่เกิดจากข้อมูลภาพถ่าย โดยอาศัยหลักการทาง Photograms จากการเก็บข้อมูลด้วย Laser Scanner อากาศยานไร้คนขับ การถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ รวมถึงเทคโนโลยีการถ่ายภาพอื่น ๆ และถูก Generate ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์นามสกุลไฟล์จัดอยู่ในประเภท 3D Surface and Shape Formats เช่นเดียวกับแบบจำลองเมฆจุดสามมิติ แสดงผลได้สองลักษณะ ตามความต้องการใช้งาน คือ แบบพื้นผิว (Surface Model - ภาพ 11 ก.) และแบบตาข่าย (Mesh Model) หรือบางครั้งเรียก แบบจำลองตาข่ายเสมือนจริง (Reality Mesh Model - ภาพ 11 ข.)



ก. แบบจำลองพื้นผิว ข. แบบจำลองตาข่ายเสมือนจริง

ภาพ 11 ตัวอย่างแบบจำลองเสมือนจริง

ที่มา : Bentley® Systems. (2017)

ทั้งนี้ ความแตกต่างกันของแบบจำลองเมฆจุดสามมิติ และแบบจำลองเสมือนจริง คือ แบบจำลองเมฆจุดสามมิติจะไม่มีพื้นผิวปรากฏ เป็นเพียงกลุ่มจุดเม็ดสี ที่มีค่าพิกัดเท่านั้น ขณะที่แบบจำลองเสมือนจริง ไม่ว่าแสดงผลแบบพื้นผิวเสมือนจริง หรือแบบตาข่ายก็ตาม จะมีพื้นผิวปรากฏอยู่เสมอ

5. แบบจำลองภูมิศาสตร์สามมิติ (Digital Terrain model) คือ เป็นแบบจำลองแสดงความสูงของภูมิประเทศแบบสามมิติ ส่วนใหญ่นามสกุลไฟล์เป็นประเภท 3D Surface and Shape Formats พื้นผิวของแบบจำลองเกิดขึ้นจากค่าความสัมพันธ์ของพิกัด และความสูง (x, y และ z) จากเทคโนโลยีการสำรวจต่าง ๆ เช่น ดาวเทียม LiDAR รวมถึงการให้บริการของ Web Maps Service (WMS) ต่าง ๆ

6. Raster คือ ข้อมูลที่จัดเก็บเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยม เรียกว่า พิกเซล (pixel) ที่มีขนาดเท่ากัน เรียงตัวกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก หากมีค่าพิกัดจะถูกกำหนดไว้ที่พิกเซลแรก และขนาดของพิกเซลจะเป็นตัวกำหนดพิกัดของพิกเซลถัดไป หากไม่มีค่าพิกัดระบุ พิกเซลแรกจะเป็น (0, 0) เสมอ ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลรูปภาพ (สองมิติ) เช่น ภาพถ่าย ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม หรือแผนที่ที่ถูกสแกนจากกระดาษ มีนามสกุลไฟล์ประเภท Raster Formats เช่น JPG, PNG, GIF, BMP และ TIFF เป็นต้น

7. Industry Foundation Classes (IFC) เป็นรูปแบบไฟล์ชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่พัฒนาจากแบบจำลองสามมิติ พาราเมตริกโมเดล (ระดับ Object) ถูกพัฒนาให้เป็นกลางทางการตลาด ตามแนวคิด BIM เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกันข้ามแพลตฟอร์ม ตามมาตรฐาน ISO

16739 : 2013 ประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ และเชิงวัตถุ ที่สัมพันธ์ และเชื่อมโยงถึงกัน (Daum & Borrmann, 2014)

8. Computer Aided Or Drawing / Drafting Design (CAD) สองมิติ หมายถึง แบบจำลองที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเขียนแบบสองมิติ เป็นข้อมูลแบบเชิงเวกเตอร์ ในรูปของจุดพิกัดกระทำอยู่บนสองแกน (X, Y) แสดงจุด (Point) เส้น (Line) หรือพื้นที่ปิด (Polygon) ซึ่งรวมถึง Shape File (ไฟล์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์) ด้วย นามสกุลไฟล์ถูกจัดอยู่ในประเภท 2D Vector Formats

2.7 นามสกุล และรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลแอปพลิเคชัน

นามสกุล และรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ที่พบมากในการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง แบ่งตามการใช้งาน ประกอบด้วย กลุ่มรูปภาพ (Raster Formats), กลุ่มเวกเตอร์สองมิติ (2D Vector Formats), สำหรับการวาดเส้น กลุ่มพื้นผิวสามมิติ และทรงตัน (3D Surface and Shape Formats), สำหรับทำวัตถุสามมิติ และกลุ่มแลกเปลี่ยนข้อมูลวัตถุสามมิติ (3D Object Exchange Formats) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มีมาตรฐาน (ISO, Standard for the Exchange of Product model data - STEP) กำหนด ที่ต้องให้รูปร่างสามมิติ และข้อมูลแอตทริบิวต์สัมพันธ์เชื่อมต่อกันได้ ในกลุ่มนี้รูปแบบมาตรฐาน IFC มีความสำคัญมากสุด เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกระบวนการทำงานต่างแพลตฟอร์ม (ดังตาราง 1)

ตาราง 1 รูปแบบการแลกเปลี่ยนไฟล์ทั่วไป ในแอปพลิเคชัน AEC

รูปแบบ	รายละเอียด
รูปภาพ (Raster Formats)	
JPG, GIF, TIF, BMP, PNG, RAW, RLE	รูปแบบ Raster แตกต่างกันในแง่ของความความละเอียด การบีบอัด จำนวนสีต่อพิกเซล ความโปร่ง และการบีบอัดจะไม่มีข้อมูลสูญหาย
2D Vector Formats	
DXF, DWG, AI, CGM, EMF, IGS, WMF, DGN, PDF, ODF, SVG, SWF	รูปแบบ Vector แตกต่างกันตามขนาด การจัดรูปแบบเส้น สี การแบ่งชั้น และประเภทของเส้น เส้นโค้ง สนับสนุนทั้งรูปแบบเป็นไฟล์ และ XML

ตาราง 1 (ต่อ)

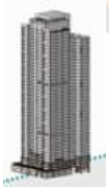
รูปแบบ	รายละเอียด
3D Surface and Shape Formats	
3DS, WRL, STL, IGS, SAT, DXF, DWG, OBJ, DGN, U3D PDF(3D), PTS, DWF	รูปแบบพื้นผิว และรูปร่างสามมิติ แตกต่างกันตามประเภทของพื้นผิว รูปทรง ขอบที่แสดง (แบบพื้นผิว และ / หรือแบบทรงตัน) คุณสมบัติของวัสดุ (สี ภาพบิตแมป และพื้นผิวสัมผัส) มุมมอง บางส่วนต้องเข้ารหัส ASCII และไบนารี สนับสนุนทั้งรูปแบบไฟล์ และ XML อื่น ๆ
3D Object Exchange Formats	
STP, EXP, CIS/2, IFC	รูปแบบจำลองข้อมูลผลิตภัณฑ์ แสดงเรขาคณิตตามประเภท สอง หรือสามมิติ มีข้อมูลประเภทวัตถุ คุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ ข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สุด
AecXML, Obix, AEX, bcXML, AGCxml	รูปแบบ XML พัฒนาขึ้นสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลอาคาร ต่างกันไปตามข้อมูลที่แลกเปลี่ยน และกระบวนการทำงานที่รองรับ
3D Object Exchange Formats (ต่อ)	
V3D, X, U, GOF, FACT, COLLADA	รูปแบบไฟล์เกม แตกต่างกันไปตามประเภทของพื้นผิว ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้น ประเภทของคุณสมบัติวัสดุ พื้นผิว และพารามิเตอร์ของการแสดงผลเสมือนจริง รวมถึงอนิเมชั่นต่าง ๆ
SHP, SHX, DBF, TIGER, JSON, GML	รูปแบบระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ แตกต่างกันไปในแง่สองมิติ หรือสามมิติ รองรับการเชื่อมโยงข้อมูลรูปแบบไฟล์ และ XML

ที่มา : แปลจาก Chuck Eastman, R. S., Ghang Lee, Paul Teicholz. (2018). BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.) (Rafael Sacks, 2018)

2.8 ระดับพัฒนา

ระดับพัฒนา หรือ Level of Development - LOD เป็นระดับขั้นลักษณะทางเรขาคณิต และข้อมูลที่ติดกับแบบจำลอง หมายถึง เนื้อหา หรือข้อมูล ที่ต้องการระบุในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในแต่ละชิ้นส่วนแบบจำลอง ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก แบ่งเป็นห้าระดับ (ตาราง 2) อย่างไรก็ตาม ในเอกสาร Guide and Instructions to the AIA Digital Practice Documents มีการกล่าวถึง LOD 350 เพิ่มมากขึ้นจากมาตรฐานอื่น แต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับในสากล (SIRAKOVA, 2018) และยังไม่ปรากฏอยู่ในเอกสารหน่วยงานสถาบันสถาปนิกอเมริกัน (AIA) ทั้ง AIA E203 – 2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit, AIA G201 – 2013 Project Digital Data Protocol Form และ AIA G202 – 2013 Project Building Information Modeling Protocol Form (ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ และ วีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์., ม.ป.ป.)

ตาราง 2 ระดับพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ตามขั้นตอนทำงาน

ระดับพัฒนา	แบบจำลองสารสนเทศอาคาร		
	กราฟิก*	ไม่กราฟิก	คำอธิบาย
100		ตำแหน่งทั่วไป (x, y, z)	Conceptual & Schematic Design; มีเฉพาะรูปร่าง รูปทรง
200		ตำแหน่ง ทิศทาง ขนาด พื้นที่ ปริมาตร จำนวนชั้น	Design Development; ชิ้นส่วนวัตถุแบบจำลองเป็น Generic System เช่น รูปร่างหลังคา ประตู หน้าต่าง เปลือกอาคาร ภายนอก เป็นรูปทรงแบบประมาณ ยังไม่ละเอียด ข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก จะถูกผูกติดไว้กับ Element
300		ตำแหน่ง และทิศทางชัดเจน มีความหนาพื้นผิววัสดุ ขนาด พื้นที่ ปริมาตร จำนวนชั้น จำนวนห้อง	Design Development; ชิ้นส่วนวัตถุแบบจำลองเป็นแบบเฉพาะเจาะจง มีรูปร่าง ตำแหน่ง เช่น รูปทรงหลังคา ประตู หน้าต่าง ระเบียง เปลือกอาคาร ข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก จะถูกผูกติดไว้กับ Element

ตาราง 2 (ต่อ)

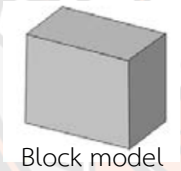
ระดับพัฒนา	แบบจำลองสารสนเทศอาคาร		
	กราฟิก*	**ไม่กราฟิก**	**คำอธิบาย**
350		ตำแหน่ง และทิศทางชัดเจน มีความหนาพื้นผิววัสดุ ขนาด พื้นที่ ปริมาตร จำนวนชั้น จำนวนห้อง ข้อมูลสำหรับการเชื่อมโยงกับระบบอาคารอื่น ๆ	Construction Documents; ชิ้นส่วนวัตถุแบบจำลองเป็นแบบเฉพาะเจาะจง มีรูปร่าง ตำแหน่ง และทิศทางชัดเจน เช่น รูปร่างหลังคา ประตู หน้าต่าง ระเบียง เปลือกอาคารภายนอก โครงสร้าง มีส่วนต่อประสานกับระบบอาคารอื่น ๆ ข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก จะถูกผูกติดไว้กับ Element
400		ตำแหน่ง และทิศทางชัดเจน มีความหนาพื้นผิววัสดุ ขนาด พื้นที่ ปริมาตร จำนวนชั้น จำนวนห้อง วัสดุที่ใช้ รุ่น สี การติดตั้ง ตกแต่ง โครงสร้างเสริม ฯลฯ	Construction Prosess / Shop Drawing; วัตถุแบบจำลองถูกแสดงอย่างกราฟิกในแบบเฉพาะเจาะจง มีปริมาณ ขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน เช่น รูปร่างหลังคา ประตู หน้าต่าง ระเบียง เปลือกอาคารภายนอก โครงสร้าง เหล็กเสริม โดยมีรายละเอียดในการผลิต การประกอบ และข้อมูลการติดตั้ง ข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก จะถูกผูกติดไว้กับ Element
500		ตำแหน่ง และทิศทางชัดเจน มีความหนาพื้นผิววัสดุ ขนาด พื้นที่ ปริมาตร จำนวนชั้น จำนวนห้อง วัสดุที่ใช้ รุ่น สี การติดตั้ง ตกแต่ง โครงสร้างเสริม ผู้ผลิต ประกัน ข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องส่งมอบให้เจ้าของโครงการ เพื่อส่งให้งานหลังก่อสร้าง เช่น O&M และ FM	As-Built Drawing; วัตถุแบบจำลองถูกรับรองความถูกต้องจาก สาขาอาชีพนั้น ๆ ถือว่าเป็นระดับพัฒนาที่ละเอียดที่สุด พร้อมส่งมอบให้เจ้าของโครงการ สำหรับข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก จะถูกผูกติดไว้กับ Element

ที่มา : รูปดัดแปลงจาก www.olilo.ae/bim-lod-100-200-300-350-400-500.html (Technologies, 2019)

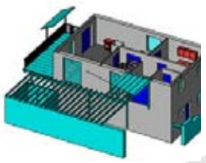
สำหรับระดับพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ที่ขยายแนวคิดจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ยังไม่มีรายละเอียดชัดเจน แต่มีกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวแก่การพัฒนาแบบจำลองเมือง ในรูป GIS (Ir. Filip Biljecki., 2013) ที่รู้จักกันโดยทั่วไป ดังนี้

CityGML เป็นรูปแบบมาตรฐานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้วิธีเข้ารหัสแบบ XML สามารถแสดงผลแบบสามมิติ รูปทรงทางเลขาคณิต ความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งระหว่างกลุ่มรูปร่าง รวมถึงความหมาย และลักษณะที่ปรากฏมีห้าระดับพัฒนา (ตาราง 3)

ตาราง 3 ระดับพัฒนาแบบจำลองเมืองสามมิติรูปแบบ CityGML

รูปแบบมาตรฐาน CityGML			
ระดับพัฒนา	**กราฟิก***	**ไม่กราฟิก**	**คำอธิบาย**
0	Footprint	กล่าวถึงไม่แพร่หลาย ข้อมูลแสดงในแอตทริ-บิวต์	รูปแบบ 2D - 2.5D มีพิกัด X, Y หรืออาจมีความสูง Z ส่วน 2.5D มักใช้กับแบบจำลองภูมิประเทศดิจิทัล (DTM / DEM) เหมาะสำหรับงานระดับภูมิภาค
1	 Block model	กล่าวถึงไม่แพร่หลาย ข้อมูลแสดงในแอตทริ-บิวต์	รูปทรงสามมิติ ทั่วไปเป็นแบบจำลองกล่อง เหมาะสำหรับงานระดับภูมิภาค
2	Coarse exterior	กล่าวถึงไม่แพร่หลาย ข้อมูลแสดงในแอตทริ-บิวต์	แสดงรูปร่างหลังคา ผนังอาคาร ตลอดจนโครงสร้างอื่น ๆ เช่น ระเบียง ลักษณะรูปทรงต้นไม้ พืชพรรณ แสดงความแตกต่างของพื้นดิน แหล่งน้ำ เหมาะสำหรับงานระดับเมือง
3	Fine exterior	กล่าวถึงไม่แพร่หลาย ข้อมูลแสดงในแอตทริ-บิวต์	แสดงรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมภายนอกอาคารสูงสุด เช่น ประตู หน้าต่าง ระเบียง รวมถึงถนน การใช้ประโยชน์ที่ดิน อาคาร สะพาน อุโมงค์ รูปร่างของพืชพรรณ ต้นไม้ แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่ใช้กับงานระดับเมือง สถานที่สำคัญ

ตาราง 3 (ต่อ)

รูปแบบมาตรฐาน CityGML			
ระดับพัฒนา	**กราฟิก***	**ไม่กราฟิก**	**คำอธิบาย**
4	 Interior	กล่าวถึงไม่แพร่หลาย ข้อมูลแสดงใน Attribute	แสดงรายละเอียดเหมือน LOD3 ทุกประการ แต่มีเพิ่มองค์ประกอบงานโครงสร้างและสถาปัตยกรรมภายใน เช่น ผนังภายใน เฟอร์นิเจอร์ และห้องพัก ส่วนใหญ่ใช้กับสถานที่สำคัญ

ที่มา : รูปดัดแปลงจาก Gröger, G. and L. Plümer (2012)

BLOM เป็นรูปแบบมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ BLOM3D™ จากบริษัท Geomatics ประเทศนอร์เวย์ มีระดับพัฒนาสี่ระดับ (Blom, 2011) คือ LOD 1 (Block Model) แสดงกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยม ไม่มีรูปทรงหลังคา และไม่มีข้อมูลเพิ่มเติมอื่น ๆ ใช้แทนสัญลักษณ์สิ่งปลูกสร้าง ใช้สีตามจริงของอาคาร (ภาพ 12 a.) LOD 2 (Roof Top2) ลักษณะเหมือนกับ LOD 1 แตกต่างกันที่ปรากฏรูปทรงหลังคา (ภาพ 12 b.) LOD 3 (Library Texture Model) แสดงข้อมูลพื้นผิวแบบไลบรารี (ตามการตั้งค่าของซอฟต์แวร์) ของภายนอกอาคาร มีประตู หน้าต่าง ระเบียง ซึ่งเป็นแบบการประมาณค่า ใช้สีจริงของอาคาร (ภาพ 12 c.) และ LOD 4 แสดงข้อมูลกราฟิกแบบเสมือนจริง พื้นผิวเสมือนจริง ลักษณะคล้ายภาพถ่าย (ภาพ 12 d.)

ทั้งนี้ สังเกตได้ว่า ระดับพัฒนารูปทรงเรขาคณิตของแบบจำลอง มีเฉพาะระดับที่หนึ่งเท่านั้น ในขณะที่ระดับที่สอง สาม และสี่ เป็นลักษณะเดียวกัน แตกต่างกันที่พื้นผิวของอาคาร (ไม่มีพื้นผิว มีพื้นผิวจากไลบรารี และพื้นผิวเสมือนจริง ตามลำดับ)

(a) BlomLOD1™ (b) BlomLOD2™

(c) BlomLOD3™ (d) BlomLOD4™

ภาพ 12 ตัวอย่างความแตกต่างระดับพัฒนารูปแบบมาตรฐาน Blom3D™

ที่มา : Blom (2011)

NAVTEQ เป็นรูปแบบมาตรฐานของบริษัทที่บริการข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สำหรับผลิตภัณฑ์การนำทางในสหรัฐอเมริกา เน้นการแสดงผลเสมือนจริง แบ่งได้สี่ระดับ คือ LOD 1 แบบจำลองเป็นลักษณะกล่อง ใช้กับสิ่งปลูกสร้างทั่วไป ที่ไม่ต้องการให้เป็นจุดเด่น หรือจุดสังเกต อาจเป็นเขตนอกเมืองที่ไม่ซับซ้อน LOD 2 แบบจำลองเป็นลักษณะกล่อง ตามรูปทรงอาคาร มีรูปทรงหลังคา ที่ไม่ต้องการให้เป็นจุดเด่น หรือจุดสังเกตมากนัก อาจเป็นเขตเมืองที่มีความซับซ้อนไม่มาก LOD 3 แบบจำลองมีพื้นผิว ทั้งอาคาร และถนน ใช้กับสิ่งปลูกสร้างทั่วไป ในเขตเมือง หรือย่านเศรษฐกิจ ที่มีความซับซ้อนมาก และ LOD 4 พื้นผิวของแบบจำลองมีความเสมือนจริง ลักษณะคล้ายภาพถ่าย ใช้กับสถานที่สำคัญ สถานที่ราชการ ที่เป็นจุดสังเกตของเมือง (Ir. Filip Biljecki., 2013)

จากข้อมูลข้างต้น สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระดับพัฒนา รูปแบบมาตรฐานต่าง ๆ ที่ใช้ระบบ GIS ได้ (ตาราง 4)

ตาราง 4 เปรียบเทียบความแตกต่าง ของระดับพัฒนารูปแบบมาตรฐานต่าง ๆ

รูปแบบ	จำนวนระดับพัฒนา	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร	พื้นผิวอาคารเสมือนจริง
CityGML	5	มี	มี	ไม่มี
BLOM	4	ไม่มี	มี	มี
NAVTEQ	4	ไม่มี	มี	มี

อย่างไรก็ตาม สังเกตได้ว่า ระดับพัฒนาแบบจำลองเมืองสามมิติ ตามแนวคิดระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในแต่ละรูปแบบมาตรฐานต่าง ๆ ส่วนใหญ่พูดถึงข้อมูลเชิงกราฟิก เช่น รูปทรงทางเรขาคณิต และรายละเอียดที่แสดงบนแผนที่ เน้นแสดงผลเป็นหลัก การเก็บข้อมูลไม่กราฟิก เช่น ตำแหน่ง พื้นที่ สถานที่สำคัญ ขนาดอาคาร เลขโฉนดที่ดิน ซึ่งยังมีข้อจำกัดด้านความเป็นอัจฉริยะและการทำงานร่วมกันของข้อมูล สำหรับการนำไปใช้สนับสนุนการทำงานในด้านวิศวกรรมโยธา

2.9 เมืองอัจฉริยะ และองค์ประกอบเมืองอัจฉริยะ

มีผู้ให้ความหมาย และองค์ประกอบเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ไว้มากมาย เช่น Smart City ในเชิงวัตถุ หรือสิ่งปลูกสร้าง น่าจะหมายรวมทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรม และนามธรรม (Concrete & abstract) หมายรวมทั้งมนุษย์ สังคม สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีที่จะสรรสร้างให้ชุมชน หรือเมืองน่าอยู่อย่างมีลำดับ โดยคำนึงถึงความสำคัญอย่างมีเหตุผล คือ มั่นคง แข็งแรง ปลอดภัย ต่อมาจึงเป็นเรื่องกฎระเบียบ การเทศาภิบาล สาธารณูปโภค สาธารณูปการ การจัดหา ความพรั่งพร้อม อัตโนมัติ ให้บุคคลเข้าถึงได้อย่างเสมอภาค หรือค่าบริการที่ยุติธรรม คือเมืองที่มี และใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับวิถี หรือจารีตของผู้คน Smart City ย่อมหมายถึงสังคมที่มีพลวัตร (Dynamics) คนก็ต้องช่วยให้สังคมขับเคลื่อนไปตามยุคสมัย อุปสงค์ ความนิยม วิทยาการ หรือเทคโนโลยีที่มีพัฒนาการไม่หยุดยั้ง แต่สุดท้ายย่อมหวนกลับมาสู่ความสุขสงบอย่างพอเพียง และยั่งยืน (Sufficiency & sustainable) (สถาพร โภคา, 2563)

วิทยา สุหฤทดำรง. (2564) ให้ความเห็นว่า เมือง (City) คือ ระบบนิเวศที่มีลักษณะเป็นระบบของระบบ (System of Systems) ที่มีความเชื่อมโยง และมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบภายในเมือง ทั้งโครงสร้างพื้นฐาน และสิ่งแวดล้อม ที่ต้องถูกพัฒนาตามความต้องการของพลเมือง ทั้งภาครัฐ และเอกชน เพื่อให้เมืองเกิดความยั่งยืน

รูปแบบการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ จำแนกได้สามรูปแบบ ได้แก่ 1) การพัฒนาเมืองใหม่ 2) การพัฒนาฟื้นฟูเมือง และ 3) การพัฒนาระบบบริหารจัดการเมือง (นพนันท์ ตาปนานนท์ และคณะ.,

2561) ครอบคลุมด้านเศรษฐกิจ (Smart Economy), คุณภาพชีวิต วิถีชีวิต และความเป็นอยู่ (Smart Community & Smart Living), สิ่งแวดล้อม (Smart Environment), พลังงาน (Smart Energy) และ 7) การบริหารจัดการเมืองอย่างมีประสิทธิภาพ (Smart Governance) ปัจจุบันการพัฒนาเมืองอัจฉริยะมีเพิ่มมากขึ้น เมืองอัจฉริยะต้นแบบที่มีผู้นิยมกล่าวถึง เช่น

Milton Keynes ประเทศอังกฤษ ได้คว้ารางวัลชนะในการประกวด Smart Cities UK Award 2017 ในด้าน ข้อมูล สื่อสาร และพลังงาน มีจุดเด่นด้านการสร้างศูนย์รวมข้อมูลที่ทันสมัย (MK Data Hub) รวมข้อมูลทุกด้านของเมือง เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ (Gillian Rose, 2017)

Amsterdam เมืองหลวงของประเทศเนเธอร์แลนด์ ถูกยกย่องให้เป็นเมืองหลวงแห่งนวัตกรรมของยุโรป โดยพัฒนาระบบอัจฉริยะ เพื่อรวบรวมข้อมูลเมือง (โดยเฉพาะข้อมูลโครงสร้างพื้นฐาน) ไว้บนแพลตฟอร์ม ชื่อ Amsterdam Smart City จากความร่วมมือของภาครัฐ และภาคเอกชน ทำให้ประชาชนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย (Mora & Bolici, 2017)

Singapore เป็นประเทศที่พัฒนาเมืองอัจฉริยะได้อย่างเต็มรูปแบบ โดยนำเทคโนโลยีที่ทันสมัย มาใช้รวบรวมข้อมูล และเปิดให้ประชาชน ภาครัฐ และภาคเอกชน เข้าถึงข้อมูลได้อย่างปลอดภัย เรียกว่า Open Goverment Data เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ข้อมูลต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบสาธารณสุข การขนส่ง และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ (Chia, 2016)

Barcelona ประเทศสเปน เป็นเมืองที่ก้าวหน้าทางด้านดิจิทัลเป็นอย่างมาก มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีให้เกิดนวัตกรรม เพื่อปรับปรุงการดำเนินงาน และการจัดการโดยรวมของเมือง โดยพัฒนาแพลตฟอร์มข้อมูล (แบบเปิด) ชื่อ Smart Citizen ให้ประชาชนเข้าถึงข้อมูล โดยเฉพาะด้านสาธารณูปโภค พร้อมให้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับนโยบายรัฐ หรือแจ้งเหตุได้ (Ferrer., 2017)

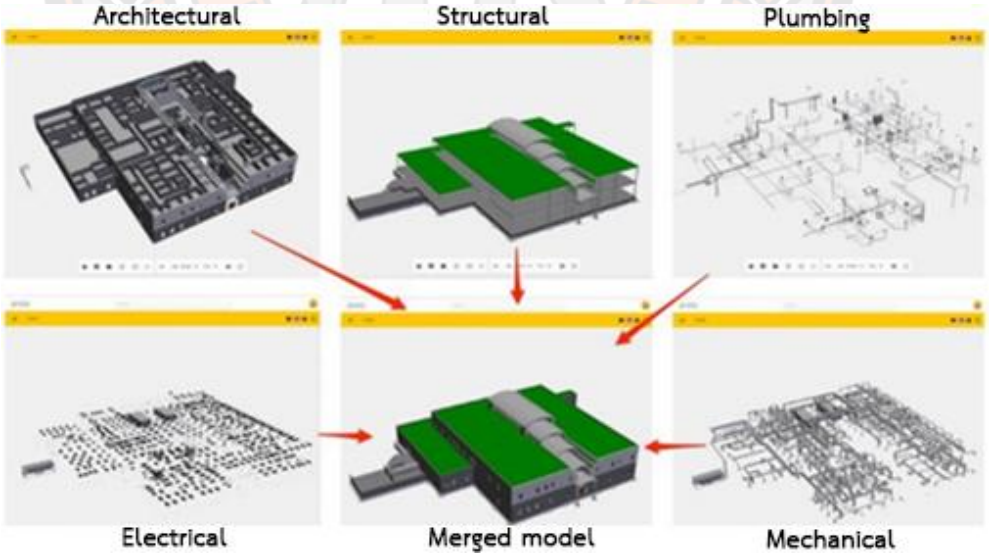
อย่างไรก็ตาม ทั้งความหมาย องค์ประกอบ และเมืองอัจฉริยะต้นแบบ พื้นฐานมักมีความเกี่ยวข้องกับแพลตฟอร์ม ข้อมูล การรวบรวมข้อมูล เข้าถึงข้อมูล และการทำงานร่วมกัน ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก เพื่อเป็นฐานข้อมูลช่วยตัดสินใจ วางแผนพัฒนาเมือง การซ่อมบำรุง และการบริหารสินทรัพย์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ มักเกี่ยวข้องกับการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง โดยเฉพาะงานอาคาร และโครงสร้างพื้นฐาน

2.10 BIM กับการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง และงานวิจัย

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อรองรับเมืองอัจฉริยะ ซึ่งเข้ามาทดแทนแบบจำลองเมืองรูปแบบเก่า ที่อาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองด้วย BIM อำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกัน จัดการข้อมูล และการสื่อสารระหว่างผู้เกี่ยวข้องในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งโครงสร้างใต้ดิน และบนดิน เช่น ผู้ควบคุมงาน

สามารถรู้ว่าต้องขุดลึกเท่าใด เพื่อไม่ให้ชนกับระบบท่อใต้ดิน ทำให้ช่วยให้ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง สิ่งเหล่านี้อาจกล่าวได้ว่า หากเมืองใดเก็บข้อมูลอาคาร โครงสร้างพื้นฐาน ตามรูปแบบกระบวนสารสนเทศอาคาร จะช่วยให้บริหารจัดการ และนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถพัฒนาเป็นเมืองอัจฉริยะได้ง่าย (สรัสไชย องค์ประเสริฐ, 2562) ดังนั้น การใช้กระบวนแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาพัฒนาเมืองอัจฉริยะ จัดการปัญหางานสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง จึงเป็นวิธีที่เหมาะมากที่สุดในยุคนี้ (Shimonti Paul, 2018)

จากแนวคิดพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแบบจำลองย่อยต่าง ๆ คือ แบบจำลองสถาปัตยกรรม แบบจำลองโครงสร้าง แบบจำลองไฟฟ้า แบบจำลองงานระบบ และแบบจำลองประปา และสุขาภิบาล (ภาพ 13) ซึ่งครอบคลุมการทำงานตั้งแต่ก่อนก่อสร้าง ระหว่างก่อสร้าง และหลังการก่อสร้าง ทำให้ขยายแนวคิด พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ที่เกิดจากการรวมกันของแบบจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมือง เช่น แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แบบจำลองโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ รวมถึงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ (Peter Byrn., 2005) บนพื้นฐานสามองค์ประกอบ คือ 1) ระบบพิกัด (อาจทำงานร่วมกับกระบวนการ GIS) 2) แบบจำลองส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมือง พร้อมข้อมูล และ 3) คอมพิวเตอร์ และแพลตฟอร์ม (Julin et al., 2018)



ภาพ 13 แบบจำลองย่อย ของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา : BIMLERN. (2017)

การจัดการโครงสร้างพื้นฐาน จากการรายงานของ Cheng, Lu, and Deng (2016) ทบทวนวรรณกรรม กว่า 171 กรณีศึกษา และ 62 บทความวิชาการ สรุปว่า ทวีปเอเชีย อเมริกาเหนือ และอเมริกาใต้ มีความพยายามนำเทคโนโลยีไปใช้กับโครงสร้างพื้นฐาน หรือสิ่งอำนวยความสะดวกมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ และแบบจำลองส่วนใหญ่ มีระดับพัฒนา 300 ถึง 400 โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม AEC อีกทั้ง มีแนวโน้มการพัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูล เพื่อการจำลองสถานการณ์และการซ่อมบำรุง (Operate & Maintenance - O&M) เพิ่มมากขึ้น

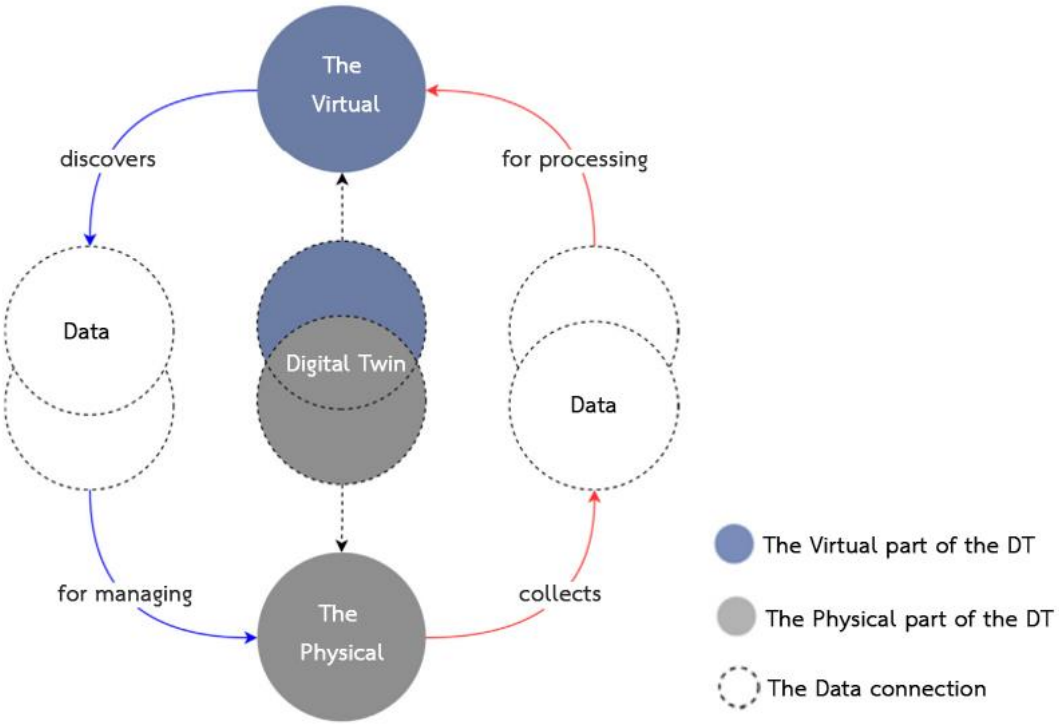
Rishi Jain, Michael Lepech และ Andrew Sonta (2017) เสนอโครงร่างกรอบแนวคิดการพัฒนา UIM ที่มุ่งหวังให้เป็นฐานข้อมูลทางวิศวกรรมของเมืองแบบดิจิตอล เน้นใช้ในงานด้าน Facility Management (FM) และการทำงานร่วมกันบนแพลตฟอร์ม กับ National Science Foundation (NSF) จากปัญหาเมืองขยายตัว เพราะมีการก่อสร้าง และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสลับซับซ้อนขึ้น ทำให้ต้องพัฒนาเครื่องมือ หรือแบบจำลอง ในการบริหารจัดการข้อมูล มีกรอบการพัฒนา คือ 1) วิเคราะห์ และแบ่งประเภทข้อมูลต่าง ๆ ของเมืองที่มีอยู่ เช่น การแบ่งเขตเมือง ประเภทอาคาร รูปทรงอาคาร ประเภทโครงสร้างพื้นฐาน เป็นต้น 2) พัฒนาแพลตฟอร์ม และวิธีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ บนแพลตฟอร์ม เน้นให้เชื่อมต่อกับแนวคิด BIM ที่รวมแบบจำลองโครงสร้างพื้นฐาน ลักษณะทางกายภาพ และสิ่งแวดล้อมของเมืองเข้าด้วยกัน และ 3) ตรวจสอบความถูกต้องประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาจริง

ทั้งนี้ ได้ร่วมกับอุดมศึกษา และการวิจัยยุโรป (CIFF) และภาคอุตสาหกรรม AEC เช่น ให้ผู้เชี่ยวชาญจาก Apple Inc. ประเมินระบบ UI, ให้ผู้เชี่ยวชาญจากบริษัท Louis Berger และ Bechtel ประเมินเรื่องเครื่องมือ และการใช้งานทางวิศวกรรม เพื่อให้สามารถนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษากับเทศบาล ในรัฐแคลิฟอร์เนีย เพื่อทดสอบประเมินผลการใช้งานต่อไป

Jain Rishee and Abraham (2019) เสนอกรอบพัฒนาเมืองอัจฉริยะ ให้มีความยั่งยืนในอนาคต ที่มีผู้นิยมกล่าวถึง ต้องประกอบด้วย 1) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้เมืองมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ทำให้บริหารจัดการข้อมูลทางวิศวกรรมทำได้ยาก ดังนั้น เพื่อให้บริหารจัดการสะดวก ต้องมีการนำเซ็นเซอร์มาช่วยจัดเก็บ และแปลความหมายข้อมูล (Proverbio, Costa, & Smith Ian, 2018), 2) ข้อมูลทุกอย่างต้องถูกจัดเก็บเป็นระบบ บูรณาการได้ แม้อยู่ต่างเมือง (Gupta, Yang, & Jain Rishee, 2019), 3) คำนึงถึงพื้นที่เปิดโล่ง หรือพื้นที่สีเขียว (Islam Md, Chen, Bouferguene, & Al-Hussein, 2019) และ 4) ทำงานร่วมกันที่เป็นอัตโนมัติ ในทุก ๆ ฐานข้อมูลเมืองผ่านระบบอินเทอร์เน็ต หรือที่เรียกว่า อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) และทั้งหมดต้องมีแบบจำลอง หรือแพลตฟอร์มรองรับการทำงาน (Costin & Eastman, 2019)

ทั้งนี้ บทบาทของกระบวนเทคโนโลยีสารสนเทศอาคาร กับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ ทำให้ขยายแนวคิดใหม่ ที่เรียกว่า Digital Twin ซึ่งบูรณาการทางไซเบอร์ เข้ากับแบบจำลองทางกายภาพ (Qi & Tao., 2018), (Tomko & Winter, 2018) และ (Haag & Anderl, 2018) ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โครงสร้างพื้นฐาน ระบบสาธารณูปโภค รวมถึงสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ คำว่า Digital Twisn ถูกพูดถึงเมื่อ 20 ปีก่อน ในเทคโนโลยีการบิน และอวกาศ (Grieves, 2015) ปัจจุบันหลักการได้ใช้ในศาสตร์ต่าง ๆ ล่าสุดถูกนำมาเชื่อมโยงกับแนวคิดเมืองอัจฉริยะ ((Rezgui., 2018) และ (Mohammadi & Taylor, 2017))

Digital Twin เป็นตัวแทนของเป้าหมายสูงสุด ที่ไม่อาจจะบรรลุผลได้ (Howell, Rezgui, Hippolyte, Jayan, & Li, 2017) และ (Schluse, Priggemeyer, Atorf, & Rossmann., 2018) เน้นการจัดการ และพัฒนาความสามารถการสื่อสารข้อมูล และความยั่งยืนของระบบอย่างชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพ มีองค์ประกอบ ได้แก่ 1) ส่วนประกอบทางกายภาพ (Physical components) 2) แบบจำลองเสมือนจริง (Virtual models) และ 3) ข้อมูลที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน (Data connection) (Grieves, 2015) สรุปได้ดังภาพ 14



ภาพ 14 กระบวนทัศน์ Digital Twin

ที่มา : Boje, Guerriero, Kubicki, and Rezgui (2020)

Boje et al. (2020) วิเคราะห์แนวโน้มการประยุกต์ใช้ BIM ลักษณะ Digital Twin จากงานวิจัย ประมวลได้ว่า การใช้งาน BIM ตามกระบวนทัศน์ Digital Twin ถูกกล่าวถึงมากขึ้น เช่น การเชื่อมต่อแบบจำลองเข้ากับเซนเซอร์เพื่อตรวจจับข้อมูล การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล เชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อการเข้าถึงข้อมูล พยากรณ์ ติดตามงานก่อสร้าง บนแพลตฟอร์มออนไลน์ ทั้งการทำงานสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง ที่เน้นการทำงานร่วมกัน เน้นการเข้าถึงข้อมูล และการเปลี่ยนแปลงข้อมูลอยู่เสมอ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ ยังเป็นอุปสรรคสำคัญ แม้การพัฒนา BIM (nD) มีมาหลายทศวรรษ แต่ความสามารถทำงานร่วมกัน เข้าถึงข้อมูล และจัดการข้อมูล ยังอยู่ในระดับต่ำ

จากอุปสรรคดังกล่าว ทำให้หลายประเทศ โดยเฉพาะในแถบยุโรป เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน และเยอรมนี กำหนดให้นำ BIM ระดับสอง ไปใช้ในโครงการก่อสร้างของรัฐบาลอย่างจริงจัง โดยเริ่มต้นจากอาคารภาครัฐ และพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง เน้นเข้าถึงข้อมูล และทำงานร่วมกัน เพื่อรองรับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะต่อไป (Shimonti Paul, 2018)

แบบจำลองสารสนเทศเมืองเมืองเฉิงตู สาธารณรัฐประชาชนจีน และเมืองปอร์โต โปรตุเกส ถือเป็นแบบจำลองเมือง ที่ก้าวเข้าสู่ความเป็น Digital Twin ที่โดดเด่น สำหรับใช้ด้านวิศวกรรมการก่อสร้าง และบำรุงรักษา จากการประกวด Year in Infrastructure Awards ประจำปี 2019 (Bentley® Systems., 2019)

เมืองเฉิงตู เมืองหลวงของมณฑลเสฉวน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ที่กำลังวางแผนก่อสร้าง และปรับปรุงถนนในเขตเมือง มูลค่าหลายพันล้านหยวน ประกอบด้วย สะพาน อุโมงค์ทางเดินเท้า ท่อส่งน้ำมัน และงานใต้ดินอื่น ๆ ที่ไม่สามารถปิดการจราจรระหว่างก่อสร้าง มีข้อจำกัดพื้นที่ ระหว่างส่วนยกระดับ ส่วนใต้ดิน ส่วนต่อเชื่อม ระยะฐานราก และเสาเข็มของสะพานข้ามแยกอุโมงค์ไฟฟ้า สถานีรถไฟใต้ดินสองแห่ง และระบบรางรถไฟใต้ดิน นอกจากนี้ การออกแบบต้องแก้ไขปัญหาจราจร ที่ต้องทำให้ไม่ติดขัด เนื่องด้วยทั้งสองฝั่งถนนเป็นย่านการค้า ต้องมีทางเท้าที่ปลอดภัยบนพื้นที่สีเขียว และสวนสาธารณะ ที่อยู่ติดกับพื้นที่ที่การจราจรหนาแน่น

เพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว วิศวกรผู้เกี่ยวข้อง ได้ใช้แอปพลิเคชัน Bentley® System พัฒนาแบบจำลองเมือง จำลองสถานการณ์ วางแผน ออกแบบ ก่อสร้าง (ภาพ 15) คือ ProjectWise™ สำหรับทำงานร่วมกันในโครงการ OpenBridge™ ใช้จำลองโครงสร้างสะพาน และ OpenRoads™ ใช้ออกแบบถนน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของทีมได้ร้อยละ 20 ลดเวลาเขียนแบบก่อสร้างลง 120 ชั่วโมง และใช้ LumenRT™ นำเสนอ เพิ่มความเข้าใจระหว่างผู้ออกแบบกับเจ้าของงาน ทำให้กระบวนอนุมัติสั้นลงร้อยละ 15 ทำให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายลง

ภาพ 15 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศเมืองเฉิงตู

ที่มา : Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute; Chengdu Institute of Survey & Investigation. (2019)

โครงการ Integrated Water Management of the Urban Water Cycle – H2Porto (ระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน) เมืองปอร์โต โปรตุเกส เกิดจากปัญหาความหนาแน่น และความซับซ้อนของโครงสร้างชลศาสตร์พื้นฐาน แหล่งน้ำของเมือง รวมข้อกำหนดที่เกี่ยวกับภาคเอกชน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงนำแนวคิด Digital Twin มาปรับใช้ โดยใช้แอปพลิเคชัน Bentley® System ได้แก่ OpenFlows FLOOD™, OpenFlows WaterGEMSTM และ OpenFlows SewerGEMSTM พัฒนาแบบจำลอง และจำลองสถานการณ์ เช่น ใช้คาดการณ์ความต้องการใช้น้ำของเมือง คาดการณ์น้ำท่วม หรือน้ำทะเลหนุนสูง ปัญหาคุณภาพน้ำ โดยทำงานผ่านเซิร์ฟเวอร์แบบรวมศูนย์ จากแหล่งที่มามากกว่า 20 สถานี ตั้งแต่เรียกเก็บเงิน บำรุงรักษา บัญชี การจัดการห้องปฏิบัติการ การรวมข้อมูลตรวจวัดจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพ และเป็นหลักประกันโครงสร้างพื้นฐาน จัดการน้ำของเมืองได้

แบบจำลองสารสนเทศโครงการ Virtual Singapore เมืองสิงคโปร์ (ภาพ 16) ที่ถูกกล่าวถึงอย่างกว้างขวาง ภายใต้ พัฒนาเพื่อให้ภาครัฐ เอกชน ประชาชน และงานวิจัยใช้งาน โดยมีวัตถุประสงค์สี่ด้าน ได้แก่ 1) แสดงผลได้เสมือนจริง 2) ใช้เป็นเครื่องมือทดสอบ หรือการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ 3) ใช้วางแผน และตัดสินใจ และ 4) ใช้สำหรับศึกษาวิจัย เน้นความเสมือนจริง เช่น พื้นผิว รูปทรงทางเรขาคณิต คุณลักษณะของภูมิประเทศ เช่น แหล่งน้ำ พืชพรรณ โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ รวมถึงแบบจำลองอาคาร ที่แสดงผนัง พื้น และเพดาน ตลอดจนรายละเอียดวัสดุก่อสร้าง ข้อมูลที่เป็นสาธารณะจะแสดงผ่านแพลตฟอร์มอินเตอร์เน็ต ทำให้แสดงผลแบบเรียลไทม์ เช่น ข้อมูลประชากร การเคลื่อนไหว สภาพอากาศ สามารถใช้ระบุเส้นทางผู้พิการ ผู้สูงอายุ ที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง จำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แสง และเงา เพื่อศึกษาผลกระทบ

ของการก่อสร้างอาคาร ตลอดทั้งวันได้ นำไปสู่การวางแผนสร้างสภาพแวดล้อมภาวะน่าสบายของชุมชน ส่งผลทำให้การวางแผนการใช้พลังงานในอาคาร และของเมืองแม่นยำยิ่งขึ้น

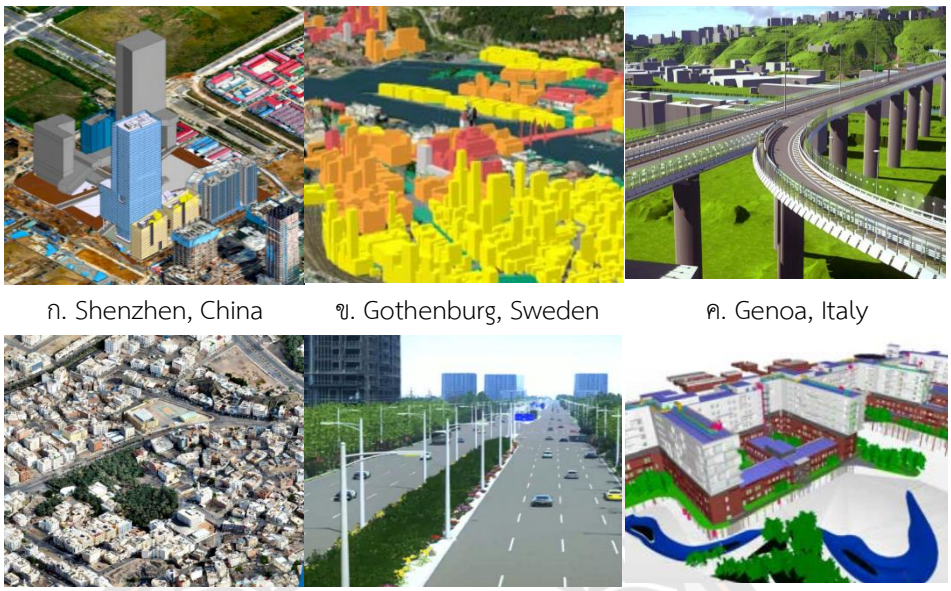
ก. แสดงผลเสมือนจริงสามมิติ ข. บริการข้อมูล

ค. จำลองสถานการณ์การใช้พลังงาน ง. วางแผนการเดินทาง

ภาพ 16 แบบจำลองสารสนเทศเมืองประเทศสิงคโปร์ (Virtual Singapore)

ที่มา : National Research Foundation Prime Minister's Office Singapore. (2021)

นอกจากนี้ ยังมีแบบจำลองสารสนเทศเมือง อีกหลายกรณีศึกษา (ภาพ 17) ที่เผยแพร่ในรายงานการประชุมวิชาการ The Year in Infrastructure 2019 (Bentley Advancing Infrastructure, 2019) และ Bentley Advancing Infrastructure (2020) เสนอแบบจำลองลักษณะกายภาพ ไปใช้เฉพาะเรื่องเป็นส่วนใหญ่ โดยพัฒนาแบบจำลองโดยวิธีที่หลากหลาย ตามประเภทแบบจำลอง ขึ้นอยู่กับความละเอียด การใช้งาน สภาพข้อมูล และเทคโนโลยีสำรวจ ประเภทแบบจำลองที่ปรากฏ ได้แก่ BIM Model, Point Cloud Model, Reality model, Block Model, Digital Terrain model, Raster และ WMS ด้วย (รายละเอียด กล่าวในหัวข้อต่อไป) ซึ่งได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV), Laser Scanner, LiDAR, ข้อมูล 2D CAD และพัฒนาด้วยมือระดับ Object



ก. Shenzhen, China ข. Gothenburg, Sweden ค. Genoa, Italy

ง. Madinah Al-Munawarah, Saudi Arabia จ. Zhong-Guan-Cun, China ฉ. Koge, Denmark

ภาพ 17 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศเมือง กรณีศึกษาต่าง ๆ

ที่มา : Bentley Advancing Infrastructure (2019) และ Bentley Advancing Infrastructure (2020)

แบบจำลองสารสนเทศวัตถุใต้ดิน เช่น ระบบประปา น้ำเสีย ท่อร้อยสายไฟ หรือสายสื่อสารโทรคมนาคม เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองสารสนเทศเมือง มักใช้ BIM ระดับ Object พัฒนาแบบจำลอง ด้วยเหตุผลข้อจำกัดการมองเห็น สำรวจ ตรวจสอบ ขณะที่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ มักต้องการความถูกต้องระดับสูง

Chapman, Providakis, and Rogers (2020) เสนอการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศใต้พื้นดิน ซึ่งเป็นเรื่องยาก เพราะไม่สามารถมองเห็นงานจริง โดยสำรวจด้วยเครื่องมือหยั่งความลึกด้วยสัญญาณเรดาร์ เพื่อระบุตำแหน่ง จากนั้นพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศระบบท่อใต้ดิน จำลองการไหล พร้อมประเมินความเสี่ยงดินเคลื่อนตัว ขณะก่อสร้าง และในอนาคต

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อใช้จำลองสถานการณ์ ฝุ่นละออง มลพิษ ที่มีผลกระทบต่อเมือง และการพัฒนาเมือง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ดังนี้

Fernández-Rodríguez, Cortés-Pérez, Muriel, Tormo-Molina, and Maya-Manzano (2018) พัฒนาแบบจำลองสามมิติ เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของละอองเกสรจากพืชตระกูลสนเขา และผลกระทบต่อกับระบบสาธารณูปโภค ระดับพัฒนา 200 ถึง 300 โดยยกตัวอย่างอาคารแห่งหนึ่ง ในมหาวิทยาลัย Extremadura ประเทศสเปน ใช้เทคนิคการ Extrude วัตถุ ในการพัฒนาแบบจำลอง ตามข้อมูลแผนที่ Google Maps ควบคู่กับเทคนิค Photogrammetry จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิเฉลี่ย ปรากฏว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถพัฒนาแบบจำลอง และพยากรณ์ความสัมพันธ์ ระหว่างละอองเกสรดอกไม้กับความสูง ระยะทาง หรือตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ได้ ทั้งนำไปสู่การพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน

Marzouk and Othman (2020) ใช้ BIM ร่วมกับ GIS จำลองการพัฒนาเมือง และศึกษาผลกระทบ ที่มีผลต่อโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ไฟฟ้า ประปา น้ำเสีย และสิ่งแวดล้อม ทำในระดับแปลงที่ดิน เช่น พื้นที่ ตำแหน่ง และหมายเลขที่ดิน ในรูปแบบแอตทริบิวต์ ใช้แบบจำลอง BIM ลักษณะแบบจำลองบล็อกจัดเก็บข้อมูล เช่น พื้นที่อาคาร วันก่อสร้าง วันแล้วเสร็จ แผนงาน การใช้พลังงาน เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองสี่มิติ นำเสนอการเปลี่ยนแปลง และความต้องการใช้โครงสร้างพื้นฐานของเมือง ซึ่งใช้ได้กับพื้นที่พัฒนาแล้ว ไปจนถึงพื้นที่ยังไม่ได้พัฒนา

ด้านการพัฒนาข้อมูลที่ไม่กราฟิก ส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เช่น Becerik-Gerber, Jazizadeh, Li, and Calis (2012) ศึกษาภาพรวมการใช้ BIM ด้าน FM และพยายามเสนอชุดข้อมูล ที่ถูกใช้บ่อย และมีความจำเป็นที่ควรถูกระบุในชิ้นส่วนวัตถุ โดยสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญด้าน BIM และ FM พร้อมสำรวจความคิดเห็นออนไลน์ ผลการศึกษาแสดงว่า การกำหนดขอบเขตข้อมูลในแบบจำลอง ต้องครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตอาคาร และข้อมูลนั้นต้องจัดการสะดวก มีเลขรหัสชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน และควรกำหนดเวลา หน้าที่ความรับผิดชอบ ในการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ เพื่อให้เป็นแบบจำลองส่วนกลาง (Core) ทุกฝ่ายสามารถใช้งานร่วมกันได้

การทบทวนวรรณกรรมข้างต้น สรุปได้ว่า ส่วนใหญ่เป็นการเสนอกรอบแนวคิดพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองในภาพกว้าง มุ่งเน้นนำเสนอข้อมูลเชิงกราฟิก ซึ่งมีระเบียบวิธีการพัฒนาที่แตกต่างกันไป ซึ่งมักพัฒนาโดยใช้แบบจำลองประเภทเดียว ยังไม่ปรากฏบูรณาการแบบจำลองต่างประเภทกันให้เห็นมากนัก ทั้งวิธีการ และการจัดการข้อมูล ที่สามารถใช้งานร่วมกันตลอดวงจรชีวิตของสิ่งปลูกสร้าง ด้านวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ทั่วไป

บทนี้กล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัย เครื่องมือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ วิธีดำเนินงานวิจัย การเก็บข้อมูล การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สู่การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ตามองคาพยพของเมือง การพัฒนาฐานข้อมูล ทั้งข้อมูลอัจฉริยะ และไม่อัจฉริยะ การบูรณาการแบบจำลองบนแพลตฟอร์ม รวมถึงทดลองใช้งาน

3.2 เครื่องมือ และซอฟต์แวร์ที่ใช้วิจัย

เครื่องมือที่ใช้วิจัย ดังนี้

1. อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ยี่ห้อ DJI รุ่น Inspire 2 พร้อมอุปกรณ์ควบคุม เพื่อสำรวจเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และใช้การสำรวจด้วยระบบนำทางด้วยดาวเทียม (GNSS)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble R8 GNSS สำหรับเก็บข้อมูล ณ จุดควบคุมภาคพื้นดิน พร้อมอุปกรณ์
3. กล้องสำรวจทางวิศวกรรม Total Station ยี่ห้อ Nikon (NPL632) พร้อมอุปกรณ์สำรวจ
4. เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับประมวลผลแบบจำลองฯ (คุณสมบัติเบื้องต้นที่แนะนำ; Intel Core I7-4770, Nvidia GeForce RTX 2060, Ram 32 Gb/1600 MHz, Windows 10 Professional 64 bit, Storage 500 Gb – SATA Drive)

ซอฟต์แวร์ ใช้แพลตฟอร์มของ Bentley® Systems, Incorporated ภายใต้ใบอนุญาตของมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ ดังนี้

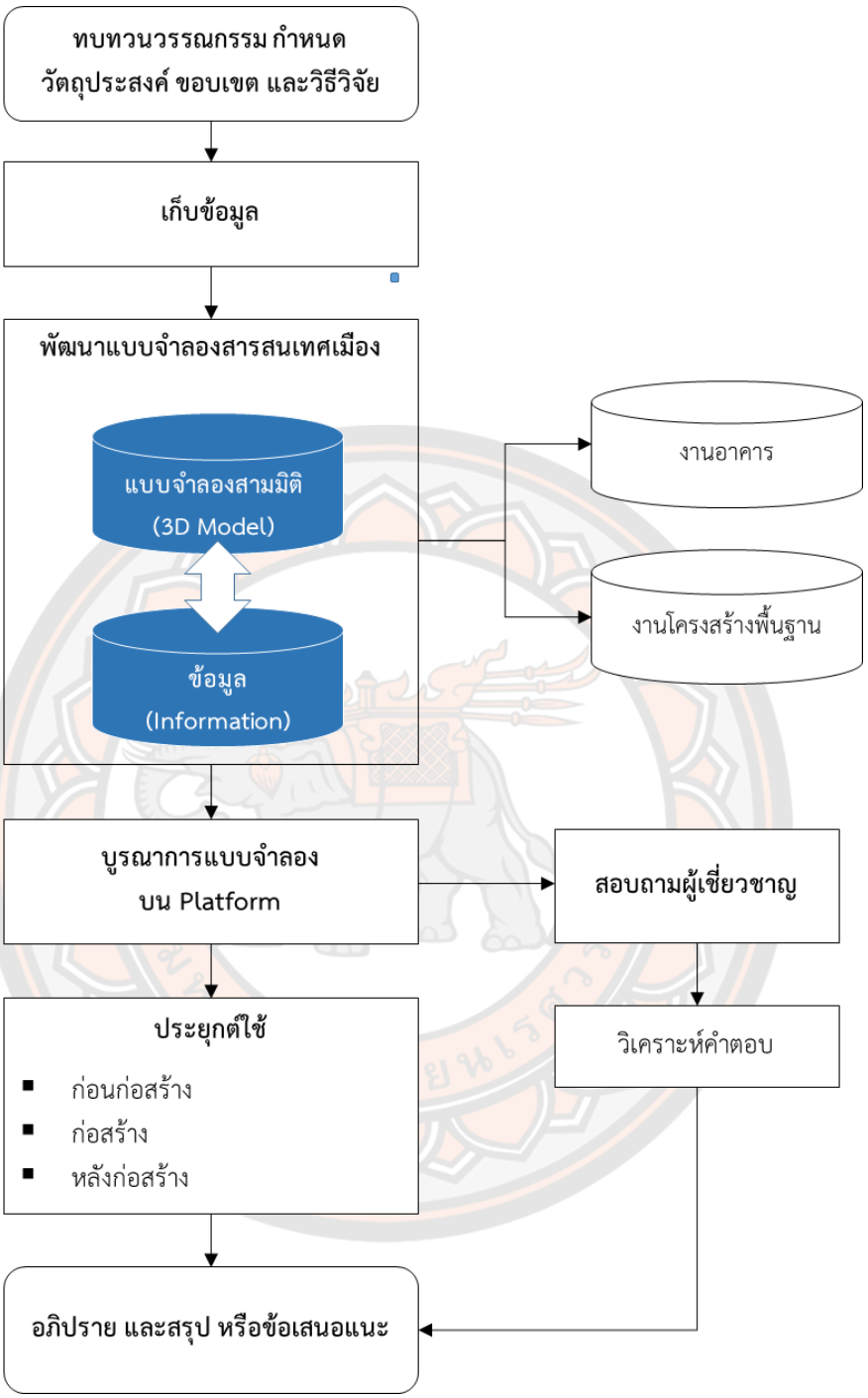
1. OpenBuildings™ Station Designer CONNECT Edition สำหรับสร้าง รวมหรือแก้ไขแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยเฉพาะอาคารใหม่ และไฟล์อาคารที่ถูกพัฒนาจากแพลตฟอร์มอื่น
2. ContextCapture™ CONNECT Edition สำหรับสร้าง และประมวลผล เพื่อให้ได้แบบจำลองเสมือนจริง และแบบจำลองจุดสามมิติ
3. Bentley Descartes™ CONNECT Edition สำหรับแก้ไข ตกแต่ง แบบจำลองเสมือนจริง และแบบจำลองจุดสามมิติ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สมบูรณ์

4. OpenCities™ Maps Ultimate CONNECT Edition สำหรับนำเสนอ แสดงผลพัฒนา แบบจำลองสารสนเทศเมือง

5. ProjectWise 365™ Services สำหรับทำงานร่วมกันออนไลน์

3.3 วิธีวิจัย

วิธีวิจัย ประกอบด้วยเจ็ดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพ 18



ภาพ 18 ระเบียบวิธีวิจัย

ภาพ 18 อธิบาย ดังนี้

1. สืบค้น และทบทวนวรรณกรรม กำหนดกรอบแนวคิด วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย ประกอบด้วย รวบรวมข้อมูลการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง เครื่องมือ และ

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ พร้อมวิธีใช้งาน มาตรฐานการพัฒนาฯ และข้อมูลที่ใช้อ้างอิง ได้แก่ แบบก่อสร้างจริง 2D CAD ผังแม่บทมหาวิทยาลัยนเรศวร แบบมาตรฐานท่อ และบ่อพักน้ำ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) สำหรับพัฒนาแบบจำลองท่อใต้ดิน แบบมาตรฐานงานทาง (ใช้ Standard drawing 2015 - Edition 2018) สำหรับพัฒนาแบบจำลองวัตถุเมือง ประกอบด้วย ป้ายจราจร ไฟสัญญาณจราจร ไฟฟ้าส่องสว่าง งานทาง และมาตรฐานงานอื่น ๆ

2. พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองมหาวิทยาลัยนเรศวร ภายใต้สมติฐานที่ว่า “พื้นที่มหาวิทยาลัย คือ พื้นที่เมืองหนึ่งเมือง” แบ่งการทำงานเป็นสองกลุ่ม คือ งานอาคาร และงานโครงสร้างพื้นฐาน ดังนี้

2.1 งานอาคาร;

2.1.1 พัฒนา BIM Model กับกลุ่มอาคารใหม่ หรืออาคารที่มีข้อมูลแบบแปลนค่อนข้างครบถ้วน ที่จะพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้ โดยให้เป็นกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (10 อาคาร) พร้อมโครงสร้างพื้นฐานในบริเวณคณะ เช่น ทางเชื่อม ทางเดินเท้า ลานน้ำพุ ประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย และที่จอดรถ, อาคารอุทยานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช และอาคารโรงอาหารหอพักนิสิตใน (NU Square) ใช้ระดับพัฒนา 350 (LOD 350) ขึ้นไป ประกอบด้วย งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง งานระบบอากาศ งานดับเพลิง งานไฟฟ้า งานประปา และสุขาภิบาล รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารบางส่วน เช่น เครื่องปรับอากาศแบบแขวน ถังดับเพลิง โต๊ะ เก้าอี้ ป้ายทางเดินหนีไฟ และอื่น ๆ โดยอ้างอิงจาก แบบแปลนพิมพ์เขียว และสำรวจพื้นที่

การพัฒนาดังกล่าว เป็นในระดับ Object ตามหลักการแบบจำลองสารสนเทศอาคารอย่างเคร่งครัด เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุเชื่อมโยงถึงกัน ไม่ซ้ำซ้อน และไม่ขัดแย้งกัน กำหนด Family & Part และ Level ตามชนิดของชิ้นส่วนวัตถุนั้น ๆ ในทุก ๆ ชิ้น ตามข้อมูลที่สืบค้นได้ ถือเป็นข้อมูลปฐมภูมิ

2.1.2 พัฒนาแบบจำลองบล็อก สำหรับกลุ่มอาคารอื่น ๆ ที่มิใช่กลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน กลุ่มอาคารหอพักบุคลากร มน.นิเวศ และกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยให้เป็นอาคารเก่า คือ อาคารที่ไม่มีแบบจำลองสารสนเทศ หรือไม่มีแบบแปลนที่ละเอียดมากพอที่จะพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศได้ กำหนดระดับพัฒนาที่ 100 ถึง 300 เน้นรูปทรงอาคารภายนอก ขนาด ความสูง พื้นที่ จำนวนห้อง จำนวนชั้น และตำแหน่งที่ตั้ง

ใช้เทคนิคการ Extrude วัตถุ (Solid และ Form) ตามขนาดจริง จากมุมมอง Top View โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม, Google Maps, WMS, ผังแม่บทของมหาวิทยาลัย แบบแปลนพิมพ์เขียว และภาพถ่ายทางอากาศ จากอากาศยานไร้คนขับ ประกอบกับการสำรวจด้วยวิธีดั้งเดิม เช่น ดึงเทปวัดระยะ ใช้กล้องสำรวจ เป็นข้อมูลฐานอ้างอิง (ซึ่งผลลัพธ์จะมีทั้ง

ชิ้นส่วนวัตถุประเภท Solid และ Form) จากนั้นได้กำหนด Family & Part และ Level ตามชนิดชิ้นส่วนวัตถุนั้น ๆ ทุกอาคาร

ทั้งนี้ การพัฒนาทั้งสองส่วนดังกล่าว ใช้ซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ เป็นเครื่องมือพัฒนาแบบจำลอง ใช้ Work Space เทมเพลตของ Building Template_USM (หน่วยมาตรวัดระบบเมตริก) เป็นฐานข้อมูล และพื้นที่ทำงาน พัฒนาแบบแยกไฟล์การทำงาน (หนึ่งไฟล์ ต่อหนึ่งกลุ่มอาคาร) การจัดเก็บไฟล์งานรูปแบบนามสกุล .dgn

2.1.3 พัฒนา Reality Model กับกลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน และกลุ่มอาคารหอพักบุคลากร มน.นิเวศ โดยใช้เทคนิคการเก็บข้อมูล โดยการบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ดังนี้

บินสำรวจกลุ่มอาคารหอพักบุคลากร มน.นิเวศ แปดอาคาร ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points - GCPs) จำนวนหกจุด ใช้ซอฟต์แวร์ ContextCapture™ ประมวลผล ให้เป็นแบบจำลองเสมือนจริง ตั้งค่า Quality JPEG ร้อยละ 75 และใช้ Level of Dial Size แบบ Medium จากนั้นปรับแต่งแบบจำลอง ควบคู่กับการตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมลบพื้นที่ส่วนเกินออก โดยซอฟต์แวร์ Bentley Descartes™ และจัดเก็บไฟล์งานให้อยู่ในรูปนามสกุล .3mx

บินสำรวจ กลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน ฝั่งหอพักชาย พร้อมอาคารขวัญเมือง แปดอาคาร ครอบคลุมพื้นที่ 40,110 ตารางเมตร ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินหกจุด ประมวลผลร่วมกับกลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน ฝั่งหอพักหญิง

บินสำรวจ กลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน ฝั่งหอพักหญิงแปดอาคาร ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินห้าจุด (มีส่วนทับซ้อนกับฝั่งหอพักชายจำนวนหนึ่งจุด) จากนั้นนำข้อมูลการสำรวจที่ได้ ไปประมวลผลร่วมกับผลบินสำรวจกลุ่มอาคารหอพักนิสิตใน ฝั่งหอพักชาย พร้อมอาคารขวัญเมือง (ข้างต้น) ใช้ซอฟต์แวร์ ContextCapture™ ประมวลผล ให้เป็นแบบจำลองเสมือนจริง ตั้งค่า Quality JPEG ร้อยละ 75 และใช้ Level of Dial Size แบบ Medium จากนั้นปรับแต่งแบบจำลอง ควบคู่กับการตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมลบพื้นที่ส่วนเกินออก โดยซอฟต์แวร์ Bentley Descartes™ และจัดเก็บไฟล์งานรูปแบบนามสกุล .3mx

การบินสำรวจดังกล่าว ใช้การเก็บข้อมูลแบบภาพนิ่ง ใช้เทคนิคการบินแบบ Double Grid ที่ความสูง 60 เมตร มุมกล้อง 45 องศาจากแนวราบ ส่วนทับซ้อนของภาพร้อยละ 80 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ควบคู่กับการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey - RTK) มีสถานีหลัก (Base Station) ของกรมที่ดิน และสถานีเคลื่อนที่ (Rover Station) ณ ตำแหน่งที่วางจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล กับพิกัดตำแหน่งของวัตถุ

2.2 งานโครงสร้างพื้นฐาน;

2.2.1 ท่อ และวัตถุใต้ดิน พัฒนา BIM Model ระดับ Object ที่ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป ทั้งประเภท Solid และ Form ประกอบด้วยงานท่อ และวัตถุใต้ดินทั้งหมด คือ ระบบประปา ระบบระบายน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย ท่อรับน้ำฝนบนทางเท้า และบ่อพัก ท่อสายไฟ หรือบ่อ และเคเบิ้ลใต้ดิน อ้างอิงข้อมูลแบบแปลนพิมพ์เขียว ร่วมกับการสำรวจพื้นที่จริง พร้อมเก็บค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์

ใช้ซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ เป็นเครื่องมือพัฒนาแบบจำลอง และใช้ Work Space เทมเพลตของ Building Template_USM (หน่วยมาตรวัดระบบเมตริก) เป็นฐานข้อมูล และพื้นที่ทำงาน โดยกำหนดคุณสมบัติของแต่ละวัตถุ เช่น ชื่อ Level รายละเอียดของ Level Family & Part สี หมายเลขชิ้นส่วนวัตถุ หรืออื่น ๆ ใหม่ พัฒนารวมอยู่ในไฟล์เดียวกัน ใช้สัญลักษณ์สี และ Level แบ่งแยกชนิดท่อ และจัดเก็บไฟล์งานในรูปแบบนามสกุล .dgn

2.2.2 ถนน และทางเดินเท้า พัฒนา Reality Model ใช้เทคนิคเก็บข้อมูล โดยบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ประกอบ BIM Model และรูปแบบมาตรฐาน IFC โดยกำหนดพื้นที่ และแผนการบินสำรวจ บริเวณถนนนเรศวร (ประตู 4 ถึง ประตู 5) แบ่งพื้นที่บินสำรวจเป็นสองส่วน ประกอบด้วย

1) บริเวณแยกประตู 5 ถึงหน้าคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ใช้การบินแบบ Single Grid ที่ความสูง 50 เมตร มุมกล้อง 90 องศาจากแนวราบ ส่วนทับซ้อนของภาพร้อยละ 80 และใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินสามจุด (มีจุดร่วมกับส่วนที่ 2 หนึ่งจุด)

2) บริเวณหน้าคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ถึงแยกประตู 4 ใช้การบินแบบ Single Grid ที่ความสูง 50 เมตร มุมกล้อง 90 องศาจากแนวราบ ส่วนทับซ้อนของภาพร้อยละ 80 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินสามจุด (มีจุดร่วมกับส่วนที่ 1 หนึ่งจุด)

ซึ่งทั้งสองส่วน ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ควบคู่กับการรังวัดแบบจลน์ในทันที มีสถานีหลักของกรมที่ดิน และมีสถานีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งที่วางจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล กับพิกัดตำแหน่งของวัตถุ การประมวลผล จะประมวลผลรวมกันทั้งสองส่วน ด้วยซอฟต์แวร์ ContextCapture™ เพื่อให้เป็นแบบจำลองเสมือนจริง ตั้งค่า Quality JPEG ร้อยละ 75 และใช้ Level of Dial Size แบบ Medium ปรับแต่งแบบจำลอง พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมลบพื้นที่ส่วนเกินโดยซอฟต์แวร์ Bentley Descartes™ จัดเก็บไฟล์งานในรูปแบบนามสกุล .3mx

สำหรับทางเดินเท้า ที่มีหลังคาคลุม และปราศจากหลังคาคลุม ขอบคันหิน รางระบายน้ำ เสาไฟฟ้าส่องสว่าง ไฟสัญญาณ ป้ายเตือน ป้ายจราจร หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อยู่บน

พื้นที่ถนน พัฒนาด้วย BIM Model ระดับ Object ร่วมกับรูปแบบมาตรฐาน IFC (กล่าวในหัวข้อถัดไป)

2.2.3 วัตถุเมือง และสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะ พัฒนา BIM Model ระดับ Object ที่ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป ประกอบด้วย ทางเดินเท้า ทั้งมีหลังคาคลุม และปราศจากหลังคาคลุม) ขอบคันหิน เสาไฟฟ้าส่องสว่าง ไฟสัญญาณ ป้ายเตือน ป้ายจราจร รางระบายน้ำ ม้านั่ง หัวดับเพลิง ที่นั่งรอรถประจำทาง หรือส่วนประกอบเมืองอื่น ๆ อ้างอิงข้อมูลจากแบบมาตรฐาน เช่น วัตถุที่เกี่ยวกับงานทาง และจราจร อ้างอิงแบบมาตรฐานงานทาง (Standard Drawing 2015 : Edition 2018) วัตถุที่เกี่ยวกับการระบายน้ำ อ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และผู้ผลิต ควบคู่กับการสำรวจพื้นที่จริง เป็นต้น

ใช้ซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ใช้ Work Space ตามเทมเพลตของ Building Template_USM (หน่วยมาตรวัดระบบเมตริก) เป็นฐานข้อมูลและพื้นที่ทำงาน พัฒนาแบบแยกไฟล์การทำงาน (หนึ่งไฟล์ ต่อหนึ่งกลุ่มอาคาร) จัดเก็บไฟล์งานในรูปแบบมาตรฐาน IFC (เนื่องจากวัตถุส่วนใหญ่เป็นมาตรฐาน จึงเหมาะจะทำให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน IFC และเป็นกลาง สามารถเก็บเป็นฐานข้อมูล สำหรับใช้ในโอกาสต่อไป)

นอกจากนี้ ได้ใช้วัตถุรูปแบบมาตรฐาน IFC ที่ดาวน์โหลดฟรีจากเว็บไซต์ภายนอก เช่น www.nationalbimlibrary.com หรือเว็บไซต์ผู้ผลิต เพื่อกำหนดข้อมูล Family & Part ใหม่ ให้ตรงกับรูปแบบการทำงานที่กำหนดไว้ พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง และจัดเก็บในลักษณะเดียวกับวัตถุที่พัฒนาเอง

2.2.4 แหล่งน้ำ เช่น คลองส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำ ประตูน้ำ สระ ฯลฯ พัฒนา BIM Model ระดับ Object ภายใต้คำสั่ง Form และ Solid ที่ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป โดยอ้างอิงข้อมูลจาก แบบแปลนพิมพ์เขียว แบบแปลนก่อสร้างจริง ภาพถ่ายทางอากาศ ร่วมกับการสำรวจพื้นที่จริง ใช้ซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ใช้ Work Space ตามเทมเพลตของ Building Template_USM เป็นฐานข้อมูล และพื้นที่ทำงาน โดยกำหนดคุณสมบัติของแต่ละวัตถุ เช่น ชื่อ Level รายละเอียดของ Level Family & Part สี หมายเลขชิ้นส่วนวัตถุ หรืออื่น ๆ ใหม่ พัฒนาให้รวมอยู่ไฟล์งานเดียวกัน และเก็บไฟล์งาน ให้อยู่ในรูปนามสกุล .dgn

2.2.5 ภูมิสถาปัตย์ ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม ใช้ผสมผสานระหว่าง Raster จากผู้ให้บริการออนไลน์ เช่น Google Maps, Bing Maps และ Terrain ใช้ 2D CAD (ผังแม่บทของมหาวิทยาลัย และข้อมูลการสำรวจพื้นที่จริง) ร่วมกับแบบจำลองเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้น ด้วยเทคนิคเก็บข้อมูล จากการบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (รูปแบบเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองถนนหรืองานอาคาร) สำหรับวัตถุอื่น ๆ ที่อยู่ในพื้นที่สิ่งปลูกสร้างใช้ BIM Model, วัตถุเมืองมาตรฐานใช้รูปแบบมาตรฐาน IFC, ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม ดาวน์โหลดฟรีจากเว็บไซต์ภายนอก แล้วกำหนด

คุณสมบัติ Family & Part ใหม่ในซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ ให้ตรงกับรูปแบบการทำงานที่กำหนด และจัดเก็บไฟล์ให้เป็นหมวดหมู่

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแบบจำลองทั้งหมด กระทำควบคู่กับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก จากข้อมูลฐาน และการสำรวจพื้นที่จริง

3. พัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง

3.1 ประเภทแบบจำลองอัจฉริยะ (BIM Model, Block Model และรูปแบบมาตรฐาน IFC)

แบบจำลองกลุ่มนี้ ถูกพัฒนาในระดับ Object ผ่านคำสั่งจากซอฟต์แวร์ ทำให้ในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุ มีข้อมูลติดมาด้วยเสมอ ตามหลักการ BIM เช่น รหัสของวัตถุ, สี, Level, Family & Part, ค่าทางเรขาคณิต, คุณสมบัติ และกลสมบัติวัสดุ ฯลฯ ทั้งนี้ อาจแสดงอยู่ในรูปแอตทริบิวต์หรืออื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุประเภท Form หรือ Solid จึงกำหนดให้ข้อมูลทั้งกราฟิก และไม่กราฟิกเหล่านี้เป็นข้อมูลปฐมภูมิ ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลสำเร็จรูป มีความอัจฉริยะ สามารถแก้ไขเพิ่มเติมได้ภายหลัง ถูกจัดเก็บไว้ใน Work Space ของซอฟต์แวร์ ประกอบด้วยเทมเพลตการทำงาน และประเภทชุดข้อมูลต่าง ๆ

การวิจัยนี้ทำงานภายใต้ฐานข้อมูล Work Space เทมเพลตของ Building Template_USM (หน่วยมาตรวัดระบบเมตริก) ของซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ และแก้ไขเพิ่มเติมประเภทชุดข้อมูล ในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์บางส่วน โดยเพิ่มหมวดการทำงาน “Urban” (เดิมมีหมวด Architectural, Structural, HVAC, Plumbing, Fire Protection, LPG และ Electrical) และได้พัฒนาไฟล์ Schedule ขึ้นใหม่ ตามลักษณะแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เช่น ป้ายสัญญาณจราจร, ไฟสัญญาณจราจร, ไฟฟ้าส่องสว่าง, บ่อพักน้ำ เป็นต้น โดยให้อยู่ภายใต้ประเภทชุดข้อมูลหมวด Urban เพื่อให้เชื่อมโยง และจัดเก็บข้อมูลปลายทางของแต่ละชิ้นส่วนวัตถุ ตามแต่ละประเภทงาน

ชุดคำสั่งบันทึกข้อมูลที่ใช้ตามค่าเดิมของซอฟต์แวร์ แต่หากพบว่าชุดคำสั่งใด ไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการบันทึก จะต้องแก้ไขให้ตรงผ่าน Coding Script โดยทั้งหมดถูกจัดเก็บในหมวด Urban (Catalog Types ที่พัฒนาขึ้นใหม่) ภายใต้ Work Space ของซอฟต์แวร์ OpenBuildings™ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ถือเป็นการพัฒนาฐานข้อมูลปฐมภูมิ

การพัฒนาฐานข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ เช่น 2D CAD, แบบก่อสร้างจริง, เอกสารสัญญา, เอกสารการรับประกันผลงาน, บัญชีแสดงปริมาณงานและวัสดุ (BOQ), รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุ, ผู้ผลิต, สถิติการใช้พลังงาน, ภาพถ่ายอาคาร หรืออื่น ๆ ใช้วิธี

แนบไฟล์ และเชื่อมโยงกับแฟ้มข้อมูลภายนอก ผ่านคำสั่ง Link & Attach File โดยข้อมูลทั้งหมดต้องจัดเป็นหมวดหมู่ และรวมอยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกัน

3.2 ประเภทแบบจำลองไม่อัจฉริยะ ได้แก่ Reality Model, Point Cloud Model, Terrain, Raster, 2D CAD และ Digital Terrain Model รวมถึง Shape File (GIS) เนื่องจากแบบจำลองกลุ่มนี้ ไม่ได้ถูกพัฒนาในระดับ Object แบบจำลอง Reality Model และ Point Cloud Model ยังมีข้อจำกัดทางเทคโนโลยี ยังไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้โดยอัตโนมัติ (Chuck Eastman, 2018) ทำให้ไม่สามารถระบุข้อมูลลงในชิ้นส่วนวัตถุเช่นเดียวกับแบบจำลองอัจฉริยะได้ ดังนั้น จึงกำหนดให้ตัวแบบจำลองเป็นข้อมูลปฐมภูมิ ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น มิติ ขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูง เป็นต้น

สำหรับข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น 2D CAD, แบบก่อสร้างจริง, เอกสารสัญญา, เอกสารการรับประกันผลงาน, BOQ, รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุ, ผู้ผลิต, สถิติการใช้พลังงาน, ภาพถ่ายอาคาร หรืออื่น ๆ เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลภายนอก และผ่านคำสั่ง Link & Attach File บนการทำงานของซอฟต์แวร์ OpenCities™ Maps (กล่าวในขั้นตอนถัดไป) โดยข้อมูลที่เชื่อมโยงทั้งหมด ต้องจัดเป็นหมวดหมู่ และรวมอยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกัน (หนึ่งอาคารต่อหนึ่งแฟ้มข้อมูล) ภายในอาจมีแฟ้มย่อย (Sub-Folder) ได้

4. บูรณาการแบบจำลอง บนแพลตฟอร์ม

ใช้ซอฟต์แวร์ OpenCities™ Maps เป็นแพลตฟอร์มแสดงผลหลัก สำหรับบูรณาการแบบจำลองเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง ดังนี้

4.1 ป้อนแผนที่ฐาน (Base Maps) เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่ง ประกอบด้วย ผังแม่บทของมหาวิทยาลัย (2D CAD), แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม, Bing Maps (มีบริการในซอฟต์แวร์) และ Shape File จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ใช้ระบบพิกัดโลก EPSG : 32647 WGS84/UTM Zone 47N จากนั้นป้อนแบบจำลองทั้งหมดลงบนแพลตฟอร์มผ่านคำสั่ง Reference ทั้งนี้ การ Ref. ต้องทำให้แบบจำลองทั้งหมดอยู่ภายในสารบบ (Directory) เดียวกัน (กรณีส่งต่อข้อมูล)

การ Reference กระทำครั้งละไฟล์ หากแบบจำลองที่มีค่าพิกัดถูกต้อง การป้อนไฟล์งานนั้น จะเป็นแบบจุดต่อจุด หากคลาดเคลื่อน ใช้วิธี Move เข้าจุด โดยใช้แผนที่ฐานเป็นตัวอ้างอิง และกำหนดพิกัดในแบบจำลองใหม่ กำหนดชื่อ Level ตามชื่อแต่ละแบบจำลอง เพื่อให้ใช้งานง่าย เช่น ชื่ออาคาร ชื่อถนน หมายเลขเสาไฟฟ้า ฯลฯ กระทำให้ครบแบบจำลอง พร้อมตรวจสอบความถูกต้อง

4.2 เชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก กับกลุ่มแบบจำลองไม่อัจฉริยะ เช่น Reality Model และ Point Cloud Model ที่ยังไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้โดยอัตโนมัติ (Chuck Eastman, 2018) ทำให้ไม่สามารถระบุข้อมูลลงในชิ้นส่วนวัตถุเช่นเดียวกับ

แบบจำลองอัจฉริยะได้ ดังนั้น จึงให้ตัวแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเป็นข้อมูลปฐมภูมิ สำหรับข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลภายนอก ผ่านคำสั่ง Link & Attach File บนการทำงานของซอฟต์แวร์ OpenCities™ Maps ซึ่งข้อมูลทั้งหมดต้องเป็นไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ และรวมอยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกัน (หนึ่งอาคารต่อหนึ่งแฟ้มข้อมูล) ภายในอาจมีแฟ้มย่อย (Sub-Folder) ได้

การวิจัยนี้ ตั้งชื่อแฟ้มข้อมูลตามชื่ออาคาร และมีแฟ้มข้อมูลย่อยภายในตามประเภทแบบจำลอง (D:\Opencities NU Maps\NU Information\Sub Folder : ชื่ออาคาร\ Sub Folder : ประเภทแบบจำลอง)

5. สอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ

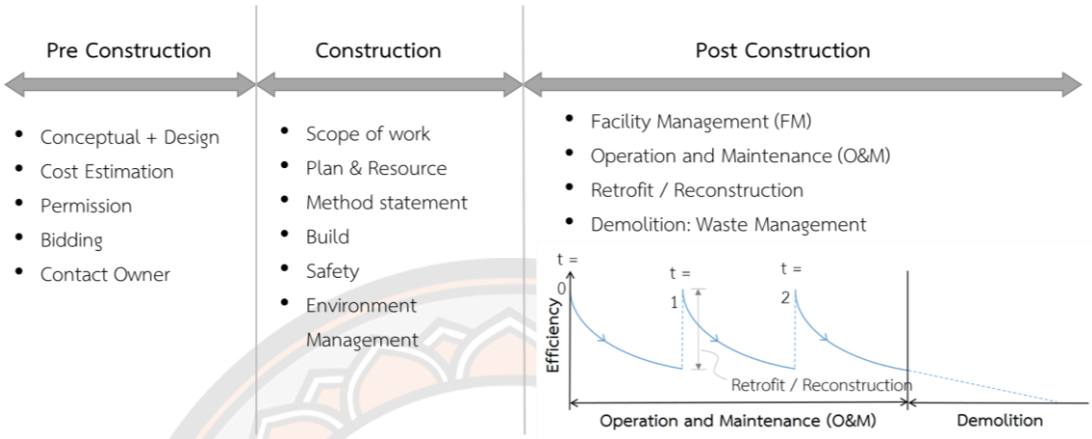
เมื่อพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองครบถ้วนแล้ว นำไปสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ ผู้ใช้งาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับ BIM จากหน่วยงานราชการ และเอกชน ได้แก่ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, โยธาธิการและผังเมือง, กรมทางหลวง, กรมทางหลวงชนบท, หน่วยงานการศึกษา (กองอาคารและสถานที่มหาวิทยาลัยนเรศวร), การประปาส่วนภูมิภาค, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, บริษัทที่ปรึกษาด้านวิศวกรรม และอื่น ๆ โดยมีกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับเมือง วิศวกรรม และการก่อสร้าง เช่น วิศวกร สถาปนิก ผู้บริหาร หรือผู้กำหนดนโยบายของเมือง เป็นต้น

ใช้วิธีสัมภาษณ์ตามแบบสอบถาม (ภาคผนวก ก) พร้อมอธิบายตัวอย่างแบบจำลองในประเด็น ได้แก่ 1) ข้อมูลผู้ถูกสัมภาษณ์ (ตำแหน่ง / งาน หรือลักษณะงาน / ประสบการณ์ทำงาน), 2) ความเหมาะสมของประเภทแบบจำลอง ทั้งเทคนิคพัฒนา ระดับความละเอียดการพัฒนา ข้อมูลที่ควรระบุลงในแบบจำลอง ทั้งที่ใช้ในหน่วยงาน และจำเป็นต้องใช้จากหน่วยงานอื่น, 3) การนำไปใช้งาน โดยเฉพาะการจัดการทรัพยากรกายภาพ และ 4) คำถามข้อคิดเห็นอื่น ๆ ใช้วิธีสถิติในการวิเคราะห์ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง

6. ประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง ด้านงานวิศวกรรมโยธา

เนื่องจากการวิจัยนี้ นำเสนอระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อเป็นฐานข้อมูล สนับสนุนงานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง ครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตของสิ่งปลูกสร้าง (ภาพ 19) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงทดลองใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อปรับปรุงอาคารติดตามงานสร้าง และการจัดการทรัพยากรกายภาพ รวมถึงทดสอบการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ โดยสมมติการปรับปรุงห้อง CE605 ชั้น 6 อาคารวิศวกรรมโยธา ได้ทดลองหาพื้นที่ทาสีผนัง พื้น ฝ้า ประตู หน้าต่าง และปริมาณงานอื่น ๆ ร่วมกับการทำงานแบบออนไลน์ (ทดสอบความเป็นอัตโนมัติของข้อมูล และสื่อสาร สั่งงานระหว่างทีมงาน) และทดลองใช้ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อติดตามงานก่อสร้างอาคารโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยนเรศวร (ปฐมวัย และประถมศึกษา) ระยะที่ 2 ด้วยการเก็บข้อมูลการบินสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับ จากนั้นนำมาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์ ควบคู่กับการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารสี่มิติ (4D BIM) จากแผนงานเดิมตามสัญญา เพื่อนำมาเปรียบเทียบด้านระยะเวลาก่อสร้างจริง



ภาพ 19 วงจรชีวิตอาคาร

สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพหลังก่อสร้าง ทดลองใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุ พร้อมปรับปรุงข้อมูล ทั้งวัตถุใต้ดิน และวัตถุบนดิน เช่น ระบบท่อใต้ดิน ป้ายเตือน สัญญาณไฟจราจร เสาไฟฟ้าส่องสว่าง เป็นต้น จากนั้นทดลองจัดทำฐานข้อมูลบำรุงรักษา ได้แก่ ฐานข้อมูลการตรวจสอบสภาพถนน อ้างอิงตามคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง., 2550) คู่มือการตรวจสอบ และประเมินสภาพทาง ระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทางหลวงท้องถิ่น (กรมทางหลวงชนบท, 2550b) และคู่มือการประเมินคุณภาพทางหลวงท้องถิ่นด้วยหลักคุณภาพ 4S โดยใช้สายตา (กรมทางหลวงชนบท, 2550a)

7. สรุปผลวิจัย พร้อมข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ทั่วไป

บทนี้กล่าวถึง ผลการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ ผลการพัฒนาแบบจำลอง ผลการพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลอง ผลการบูรณาการแบบจำลองพร้อมฐานข้อมูลบนแพลตฟอร์ม ผลการทดลองใช้งาน พร้อมสรุปความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ ตลอดจนการอภิปรายผลต่าง ๆ ที่ทดลองพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองกับพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร ภายใต้สมมติฐาน “พื้นที่มหาวิทยาลัย คือ พื้นที่เมืองหนึ่งเมือง” ตามองค์ประกอบ และข้อมูลที่พื้นที่กรณีศึกษามี และสืบค้นได้

4.2 ผลการพัฒนาแบบจำลอง

ผลพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งแบบจำลองอัจฉริยะ ได้แก่ BIM, Block Model และ IFC และแบบจำลองไม่อัจฉริยะ ได้แก่ Point Cloud Model, Reality Model, Raster, Digital Terrain Model และ 2D CAD แบ่งการทำงานเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ งานอาคาร และงานโครงสร้างพื้นฐาน ดังนี้

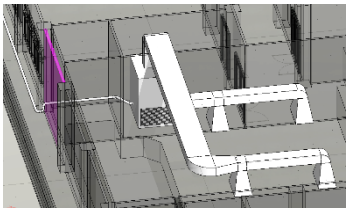
1. งานอาคาร;

1.1 ประเภท BIM Model ดังนี้

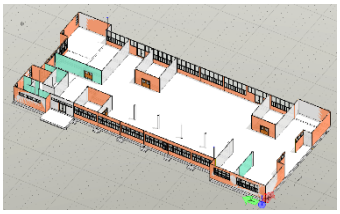
กลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ภาพ 20) ประกอบด้วยสิบอาคาร ได้แก่ อาคารเรียนรวมฯ (หมายเลข 1), อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 2), อาคารวิศวกรรมโยธา (หมายเลข 3), อาคารวิศวกรรมอุตสาหการและวิศวกรรมเครื่องกล (หมายเลข 4), อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า (หมายเลข 5), อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม (หมายเลข 6), อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (หมายเลข 7), อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ (หมายเลข 8), อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี (หมายเลข 9) และอาคาร Start up and Innovation (หมายเลข 10) พร้อมลานจอดรถ ทางเดินเท้า ระบบทำความเย็นแบบ Chiller และสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ ภายในคณะ

อาคารอุทยานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช และอาคารโรงอาหารหอพักนิสิตใน (ภาพ 21 และ 22) ตามลำดับ ทั้งหมดใช้ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป ทุกแบบจำลองประกอบด้วยงานสถาปัตยกรรม, งานโครงสร้าง, งานระบบอากาศ, งานดับเพลิง, งานไฟฟ้า, งานประปา และสุขาภิบาล รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร และนอกอาคารบางส่วน เช่น

เครื่องปรับอากาศแบบแขวน, ป้ายทางเดินหนีไฟ, โต๊ะ, เก้าอี้, ลานจอดรถ, ป้อม รปภ., รวมถึงทางเชื่อมต่าง ๆ (ภาพ 23)

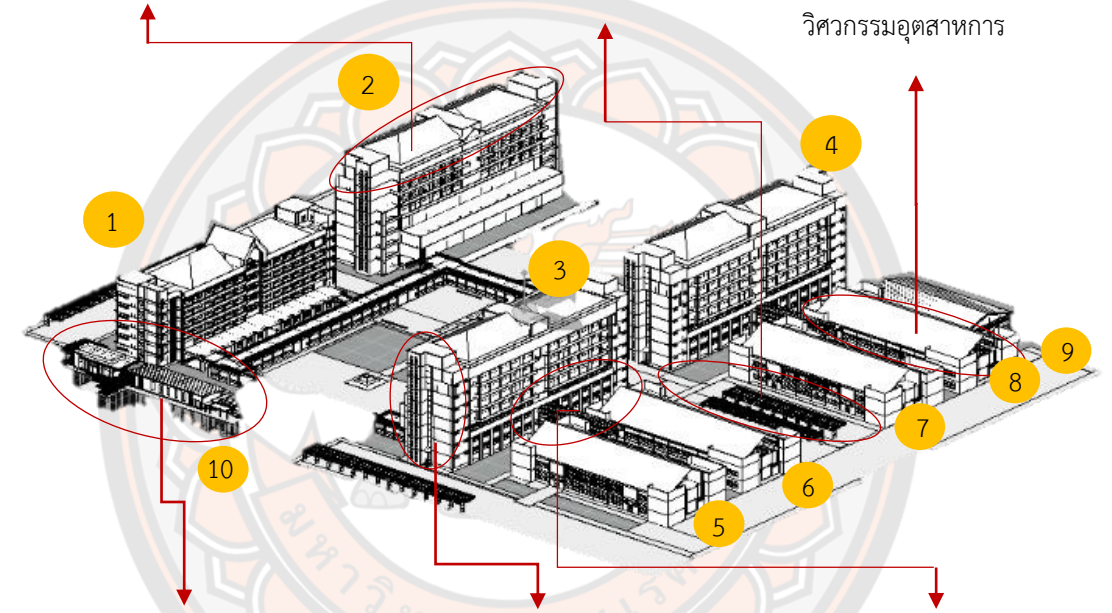


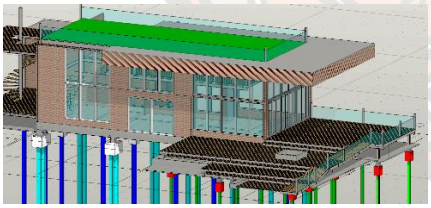
ระบบท่อความเย็นแบบ Chiller



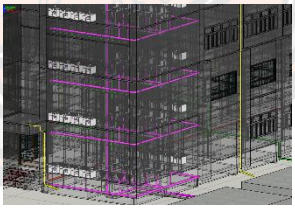
ลานจอดรถอาคารเรียนรวม

ผังชั้นพื้น อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ

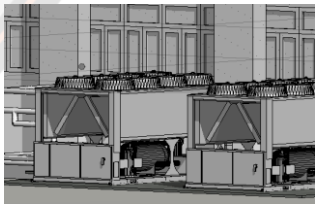




อาคาร Start Up and Innovation

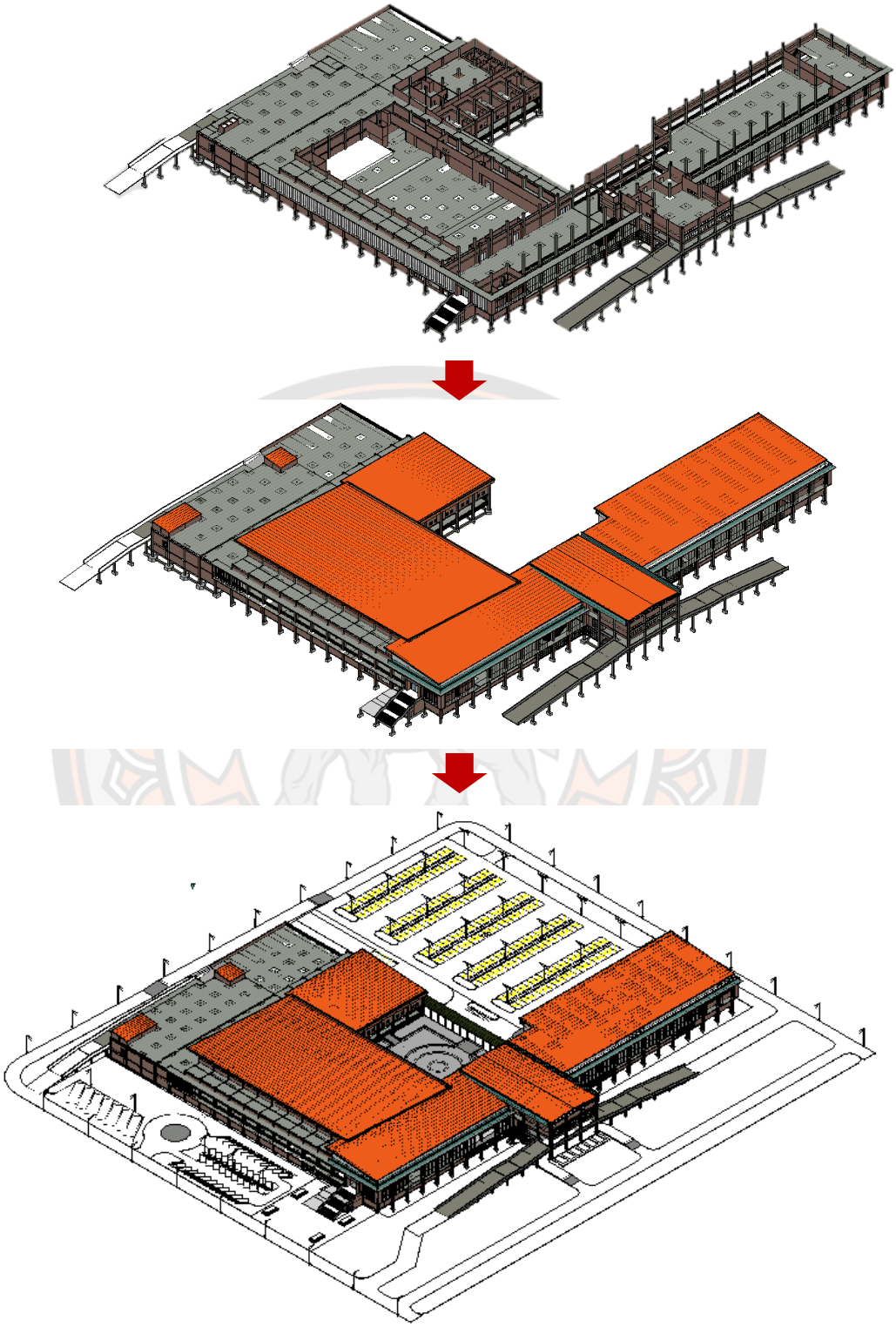


ระบบท่อสุขาภิบาล

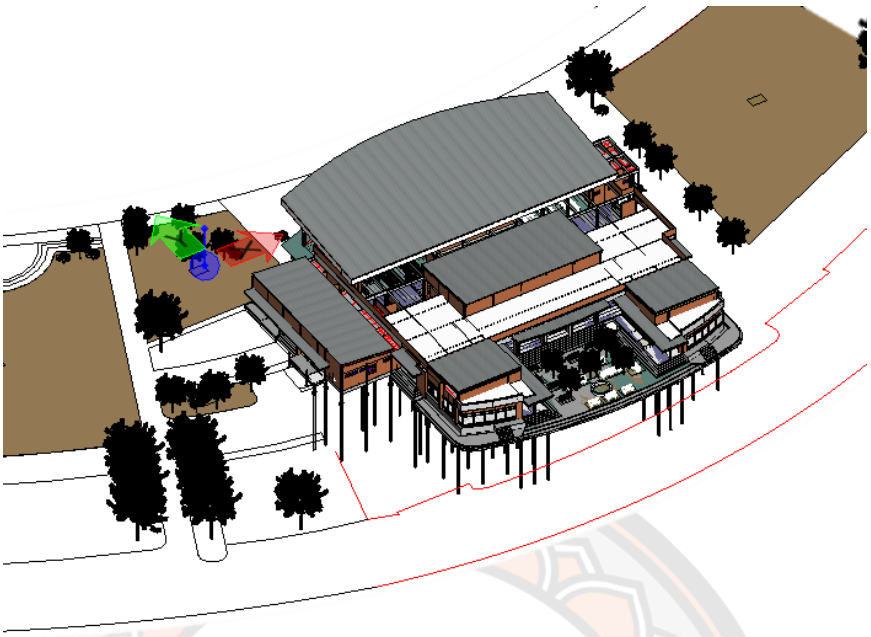


ระบบทำความเย็นแบบ Chiller

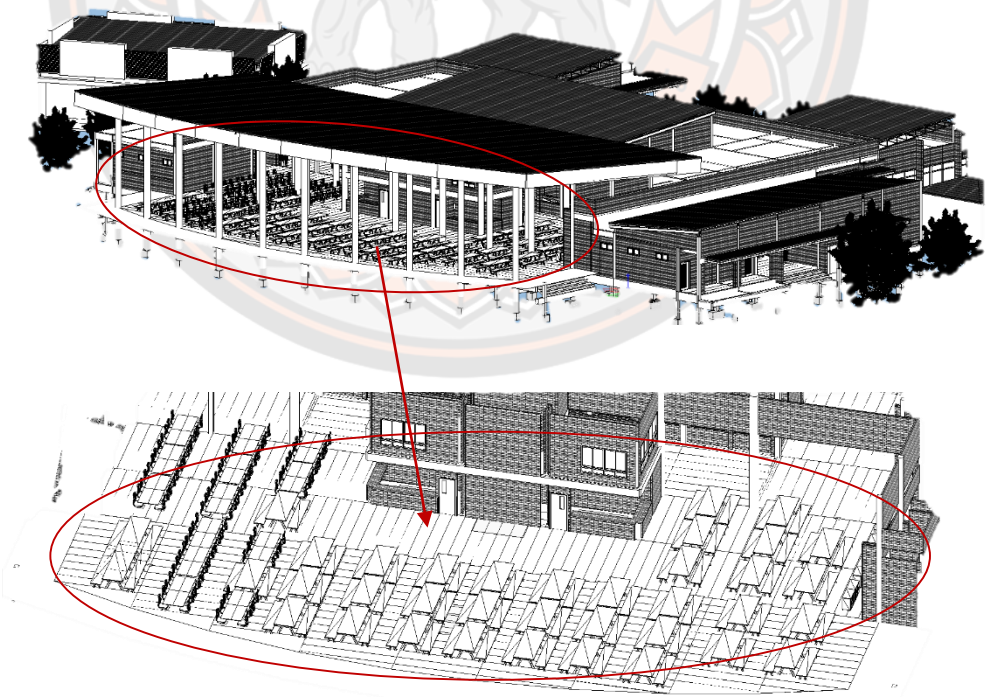
ภาพ 20 แบบจำลองสารสนเทศอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์



ภาพ 21 แบบจำลองสารสนเทศอาคารอุทยานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช



ภาพ 22 แบบจำลองสารสนเทศอาคารโรงอาหาร NU Square



ภาพ 23 แบบจำลองสารสนเทศอาคารโรงอาหาร NU Square แสดงสิ่งอำนวยความสะดวก

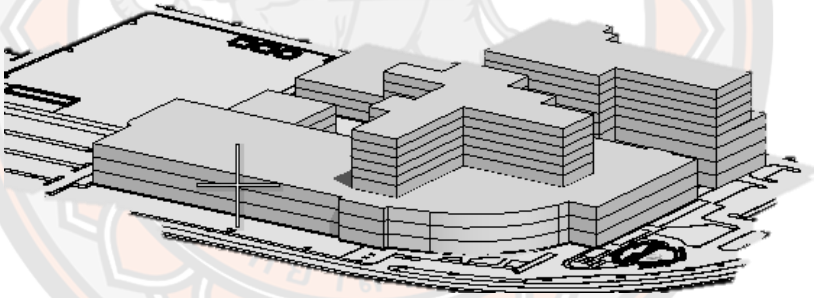
1.2 ประเภทแบบจำลองบล็อก เช่น

อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร (ภาพ 24)

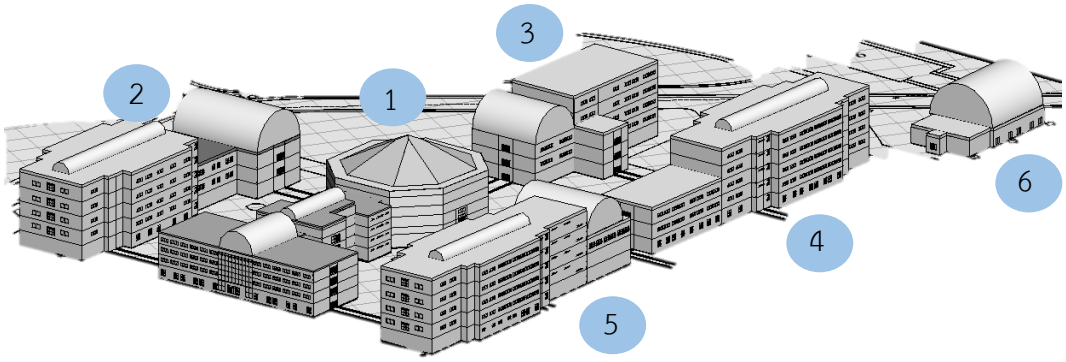
กลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์ (ภาพ 25) หกอาคาร ได้แก่ อาคารบริหารและอาคารเรียนรวม (หมายเลข 1), อาคารภาควิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 2), อาคารภาควิชาชีววิทยา (หมายเลข 3), อาคารภาควิชาเคมี (หมายเลข 4), อาคารภาควิชาฟิสิกส์ (หมายเลข 5) และอาคารศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (หมายเลข 6)

กลุ่มอาคารคณะเภสัชศาสตร์ (ภาพ 26) หกอาคาร ได้แก่ อาคาร 1 (หมายเลข 1), อาคาร 2 (หมายเลข 2), อาคาร 3 (หมายเลข 3), อาคาร 4 (หมายเลข 4), อาคาร 5 (หมายเลข 5) และอาคาร 6 (หมายเลข 6)

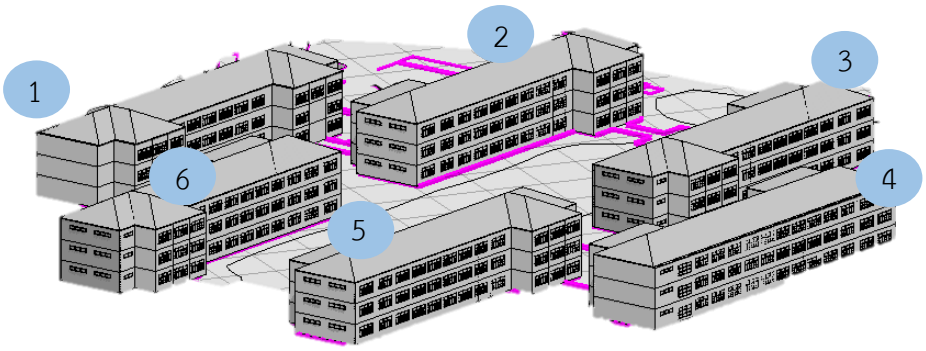
กลุ่มอาคารวิทยาศาสตร์สุขภาพ (ภาพ 27) ได้แก่ กลุ่มอาคารคณะเภสัชศาสตร์ (หมายเลข 1), คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ (หมายเลข 2), คณะทันตแพทยศาสตร์ (หมายเลข 3), คณะสหเวชศาสตร์ (หมายเลข 4), คณะพยาบาลศาสตร์ (หมายเลข 5) และคณะสาธารณสุขศาสตร์ (หมายเลข 6)



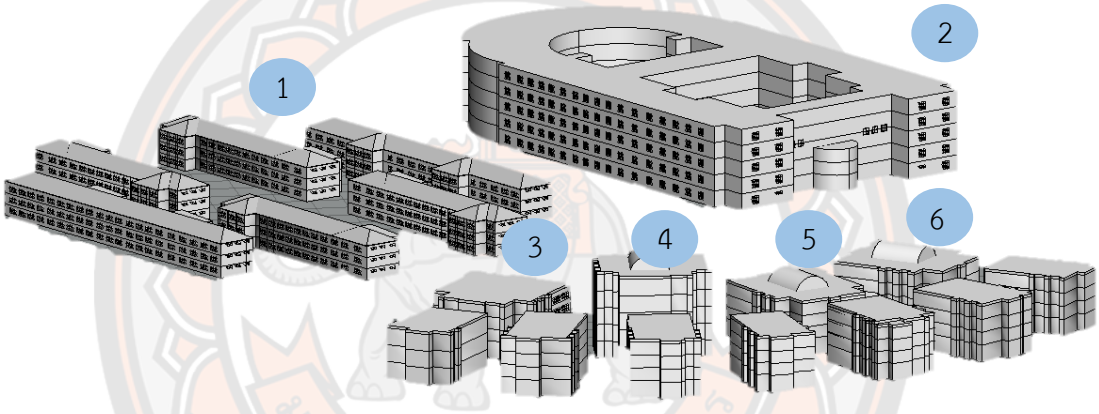
ภาพ 24 แบบจำลองบล็อก อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร



ภาพ 25 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์



ภาพ 26 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารคณะเภสัชศาสตร์



ภาพ 27 แบบจำลองบล็อก กลุ่มอาคารวิทยาศาสตร์สุขภาพ

1.3 ประเภท Reality Model ดังนี้

กลุ่มอาคารหอพักบุคลากรมหาวิทยาลัยนเรศวร (มน.นิเวศ) (ภาพ 28) ใช้รูปถ่ายทั้งหมด 967 รูป ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) แบบจำลองสามมิติ เท่ากับ 0.052 เมตร แกน X เท่ากับ 0.0033 เมตร แกน Y เท่ากับ 0.0032 เมตร และแกน Z เท่ากับ 0.0024 เมตร เมื่อเทียบกับค่าพิกัดดาวเทียมจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนหกจุด

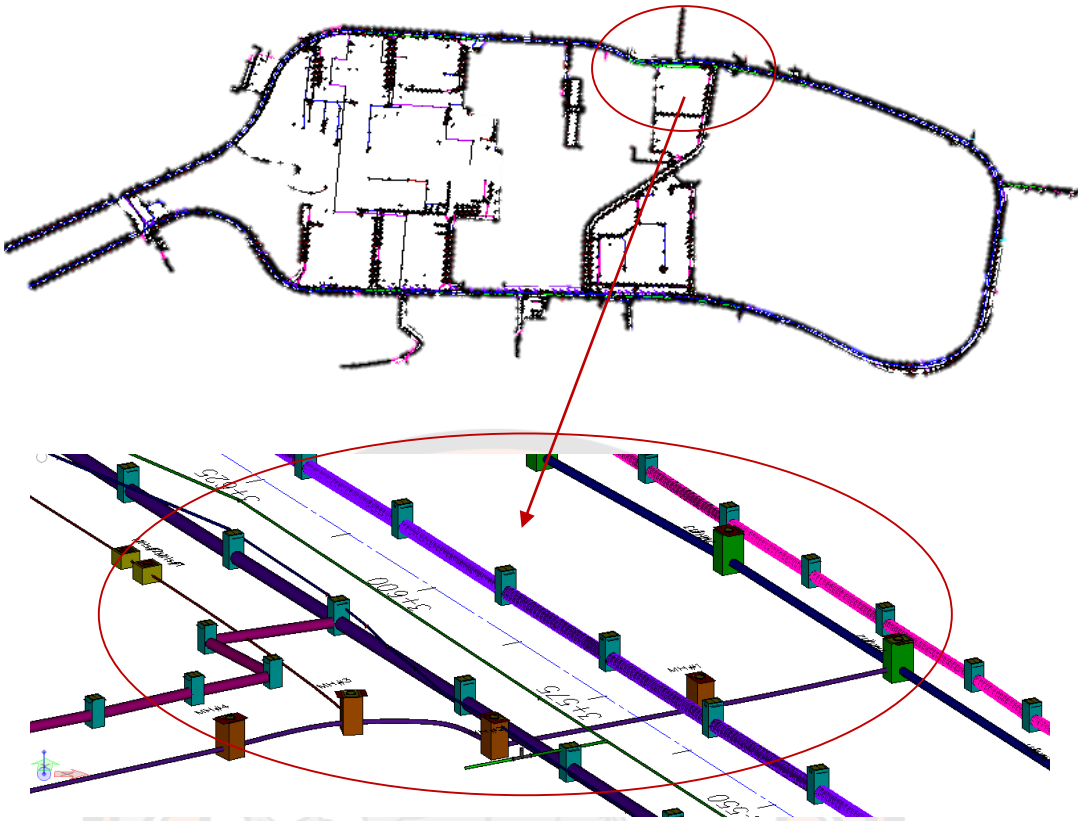
กลุ่มอาคารหอพักนิสิตในมหาวิทยาลัยนเรศวร (NU Dorm) (ภาพ 29) ใช้รูปถ่ายทั้งหมด 1,386 รูป ค่า RMSE แบบจำลองสามมิติ เท่ากับ 0.092 เมตร แกน X เท่ากับ 0.0056 เมตร แกน Y เท่ากับ 0.0029 เมตร และแกน Z เท่ากับ 0.0068 เมตร เมื่อเทียบกับค่าพิกัดดาวเทียมจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนเก้าจุด

ภาพ 28 แบบจำลองเสมือนจริงหอพัก มน. นิเวศ 7-12 และ มน. นิเวศ 14-15

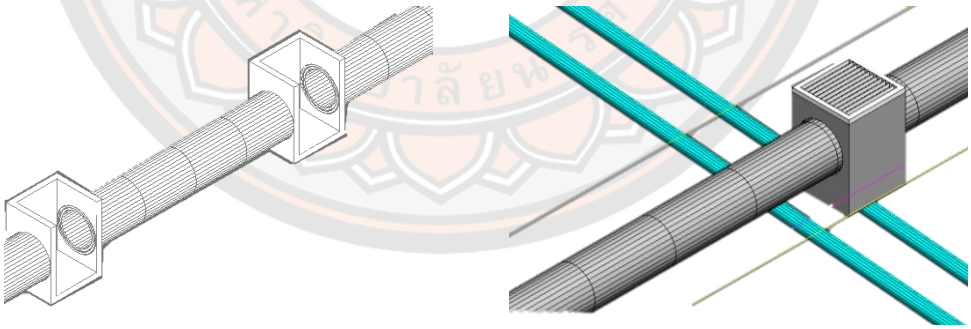
ภาพ 29 แบบจำลองเสมือนจริงหอพักนิสิตในมหาวิทยาลัยนเรศวร (NU Dorm)

2. งานโครงสร้างพื้นฐาน;

2.1 ท่อ และวัตถุใต้ดิน พัฒนา BIM Model ระดับ Object ที่ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป ทั้งประเภท Solid และ Form ประกอบด้วยงานท่อ และวัตถุใต้ดินทั้งหมด ได้แก่ ระบบประปา ระบบระบายน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย ท่อรับน้ำฝนบนทางเท้า และบ่อพักน้ำเสีย ทั้งสายหลัก สายรอง และสายย่อย (ภาพ 30) ประกอบด้วย บ่อพักน้ำเสียสายหลัก จำนวน 164 บ่อ สายรอง จำนวน 227 บ่อ สายย่อย จำนวน 126 บ่อ และบ่อพักน้ำฝน จำนวน 1,478 บ่อ รอบมหาวิทยาลัย สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ กล่าวไว้ในผลการพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลอง และแสดงในไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ (.dgn)



ภาพ 30 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แสดงท่อ และวัตถุใต้ดิน



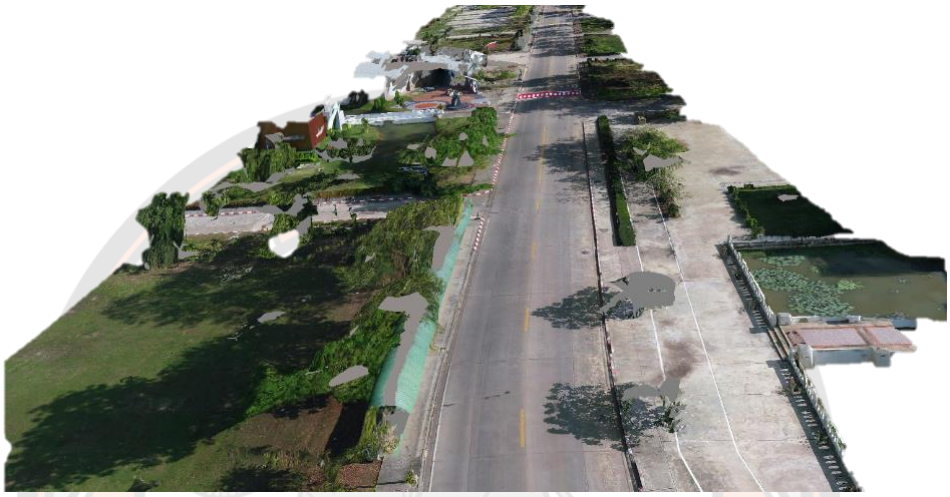
ก. รูปตัดท่อ และบ่อพักน้ำเสีย ข. รูปขยายระบบท่อ และบ่อพักน้ำฝน

ภาพ 31 (จากซ้ายไปขวา) แสดงตัวอย่างรูปตัด และรูปขยายของท่อ และบ่อพักน้ำฝน

2.2 ถนน และทางเดินเท้า พัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง ใช้เทคนิคเก็บข้อมูล โดยบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (ภาพ 32 และภาพ 33) ใช้รูปถ่ายทั้งหมด 503 รูป มีค่า RMSE

แบบจำลองสามมิติ เท่ากับ 0.00323 แกน X เท่ากับ 0.00087 เมตร แกน Y เท่ากับ 0.00186 เมตร และแกน Z เท่ากับ 0.00249 เมตร เมื่อเทียบกับพิกัดดาวเทียมจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนสามจุด

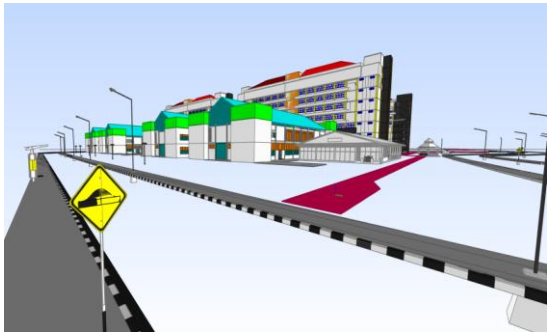
สำหรับแบบจำลองสารสนเทศอาคารประกอบรูปแบบมาตรฐาน IFC บริเวณถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึง ประตู 5 และถนนสุพรรณกัลยา บริเวณด้านข้างคณะวิศวกรรมศาสตร์ มุ่งหน้าคณะวิทยาศาสตร์ ดังภาพ 34



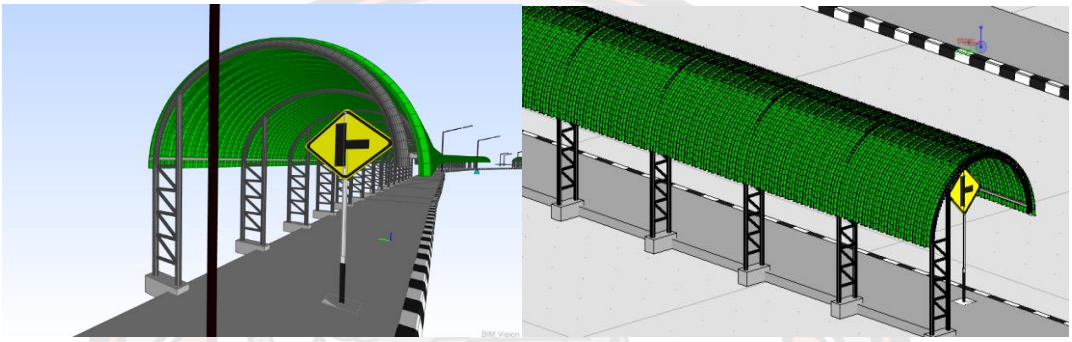
ภาพ 32 แบบจำลองเสมือนจริง ถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึงประตู 5 มุมสูง

ภาพ 33 แบบจำลองเสมือนจริง ถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึงประตู 5 มุมมองคนเดิน

ก. บริเวณถนนสุพรรณกัลยา ข้างคณะวิศวกรรมศาสตร์



ข. บริเวณสามแยกถนนสุพรรณกัลยา ตัดกับถนนนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์



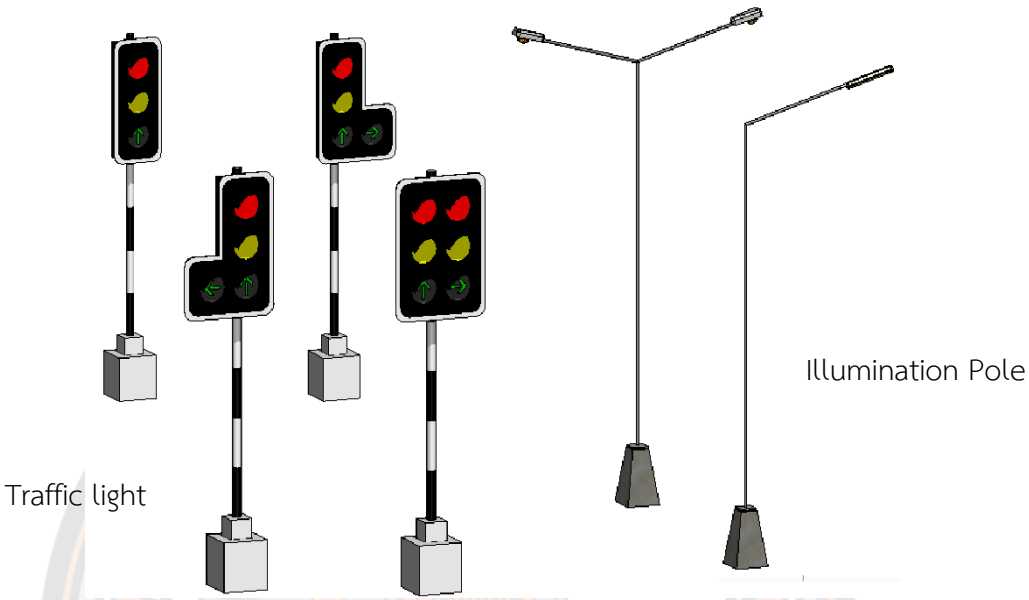
ค. บริเวณถนนนเรศวร หน้าคณะมนุษยศาสตร์

ภาพ 34 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ประกอบรูปแบบมาตรฐาน IFC

สำหรับเทคนิคการพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง โดยอาศัยข้อมูลการบินสำรวจจากอากาศยานไร้คนขับนี้ เทียบเคียงได้กับการสำรวจสภาพผิวทางของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท ที่ใช้ระบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) (ปัจจุบัน) และใช้กล้องบันทึกภาพ (อดีต) ติดรถสำรวจเก็บข้อมูลของสายทาง ซึ่งมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป

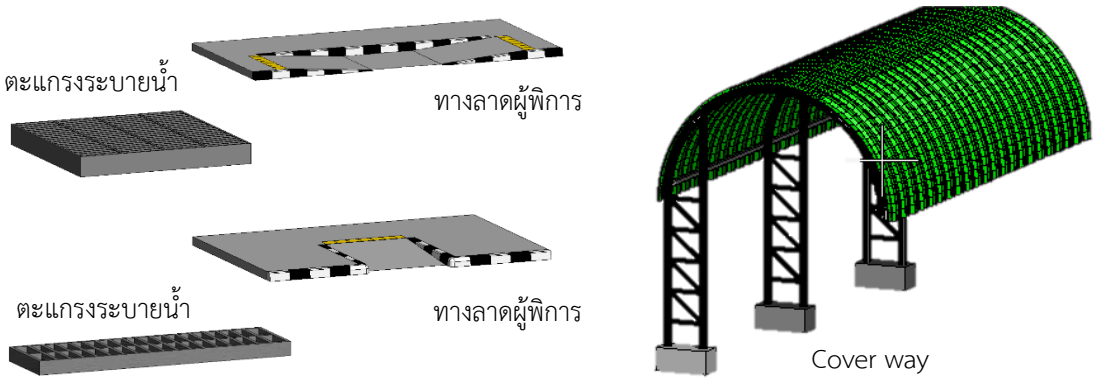
2.3 วัตถุเมือง และสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะ (Urban Object) ที่พัฒนาด้วย BIM Model ระดับ Object ทั้งหมดหกกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มงานทาง และจราจร เช่น ไฟสัญญาณจราจร ไฟส่องสว่างทาง เครื่องกั้นแบ่งช่องทางจราจร ป้ายจราจร ฯลฯ (ภาพ 35 และภาพ 36), กลุ่มสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินเท้า และผู้พิการ เช่น ทางลาด หลังคาคลุมทางเดินเท้า แผ่นทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา ฯลฯ (ภาพ 37), กลุ่มที่พักคอยรถประจำทาง (ภาพ 38), กลุ่มการระบายน้ำ เช่น ตะแกรงระบายน้ำ ท่อ บ่อพักน้ำเสียพร้อมฝา ฯลฯ (ภาพ 39), กลุ่มสิ่งอำนวยความสะดวกสวนสาธารณะ เช่น ถังขยะ ม้านั่ง เสาไฟ สวนสาธารณะ น้ำพุ ฯลฯ (ภาพ 39) และกลุ่มไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม รวมถึงวัตถุมาตรฐานอื่น ๆ (ภาพ 40) เช่น กลุ่มสุขภัณฑ์ ก๊อกน้ำ อ่างล้างมือ สุขภัณฑ์ (นำไปใช้ใน

งานอาคาร) เป็นต้น ดาวน์โหลดฟรีจากเว็บไซต์ภายนอก โดยกำหนดข้อมูล Level และ Family & Part ใหม่ให้ตรงกับรูปแบบการทำงานที่กำหนดไว้

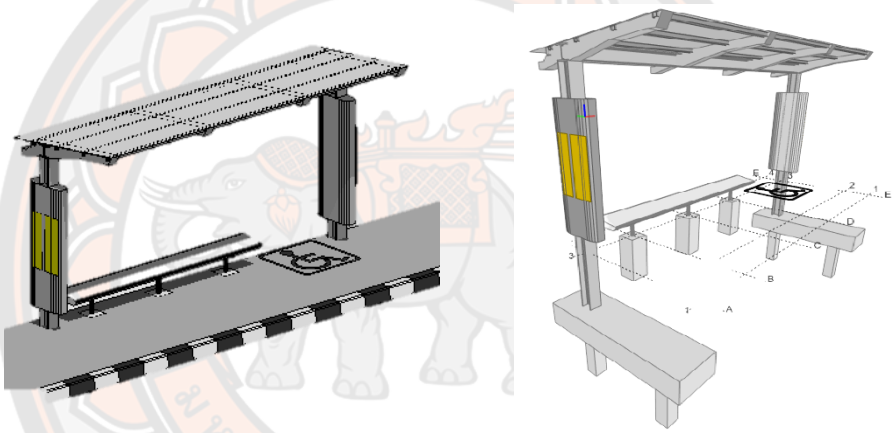


ภาพ 35 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ไฟสัญญาณ และไฟฟ้าส่องสว่าง

ภาพ 36 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ป้ายจราจร และเครื่องกั้นแบ่งช่องทางจราจร

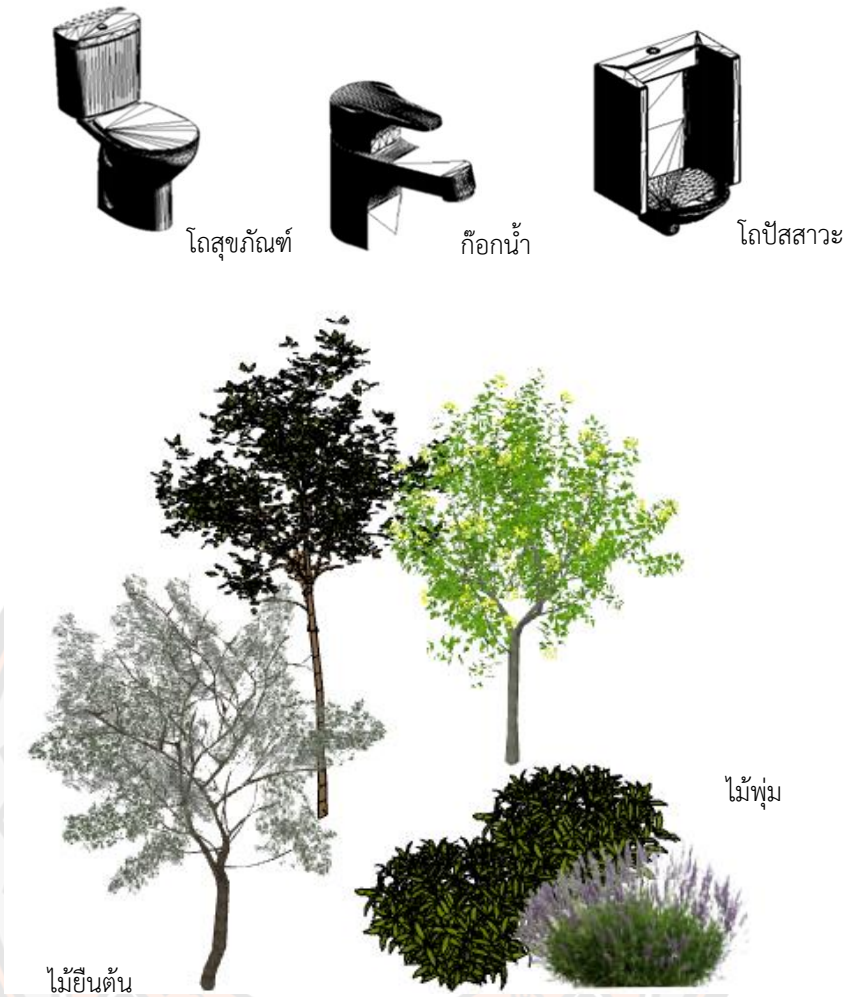


ภาพ 37 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ตะแกรงระบายน้ำ ทางลาดผู้พิการ



ภาพ 38 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ที่พักคอยรถประจำทาง

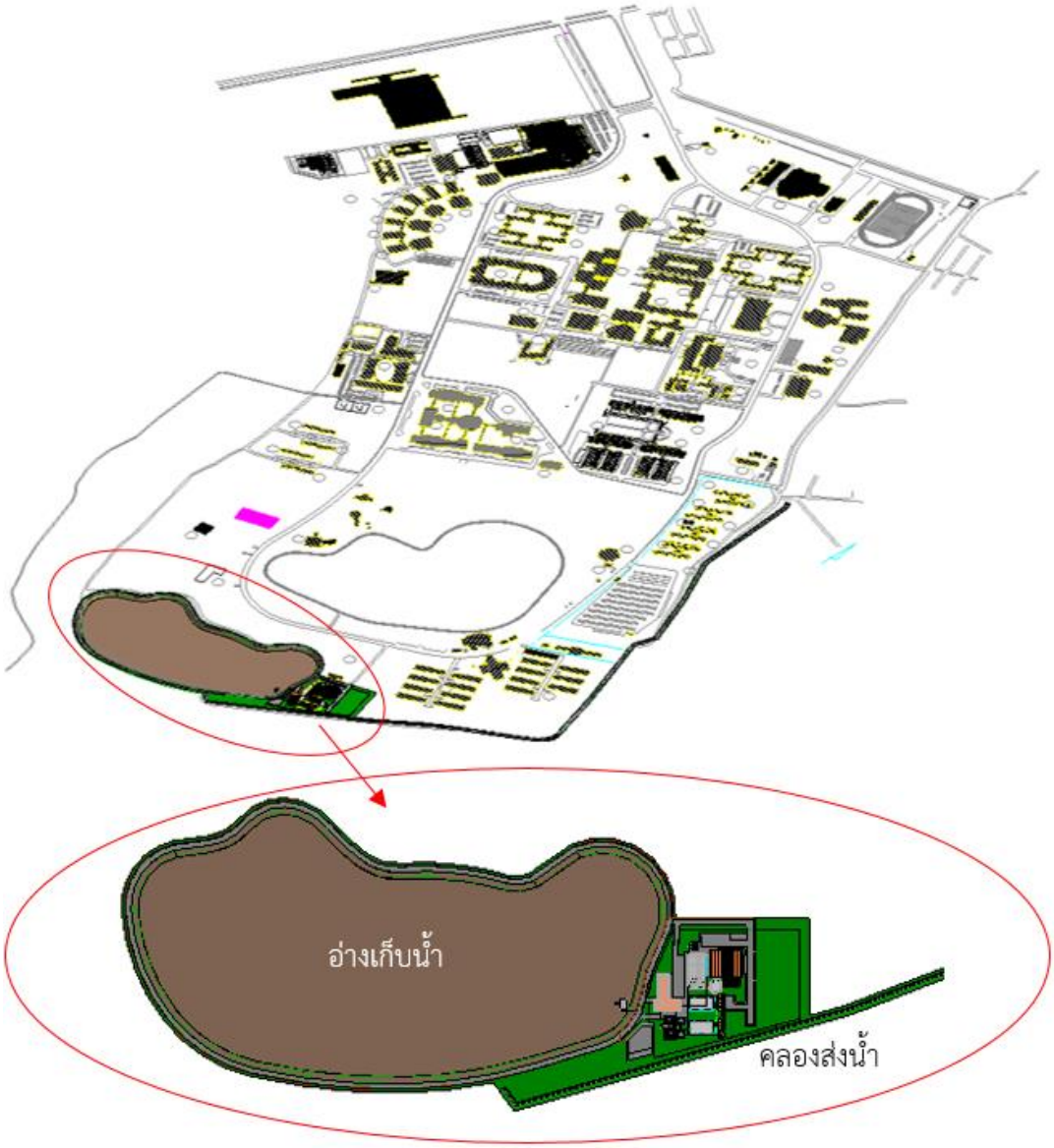
ภาพ 39 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC สิ่งอำนวยความสะดวกสวนสาธารณะ



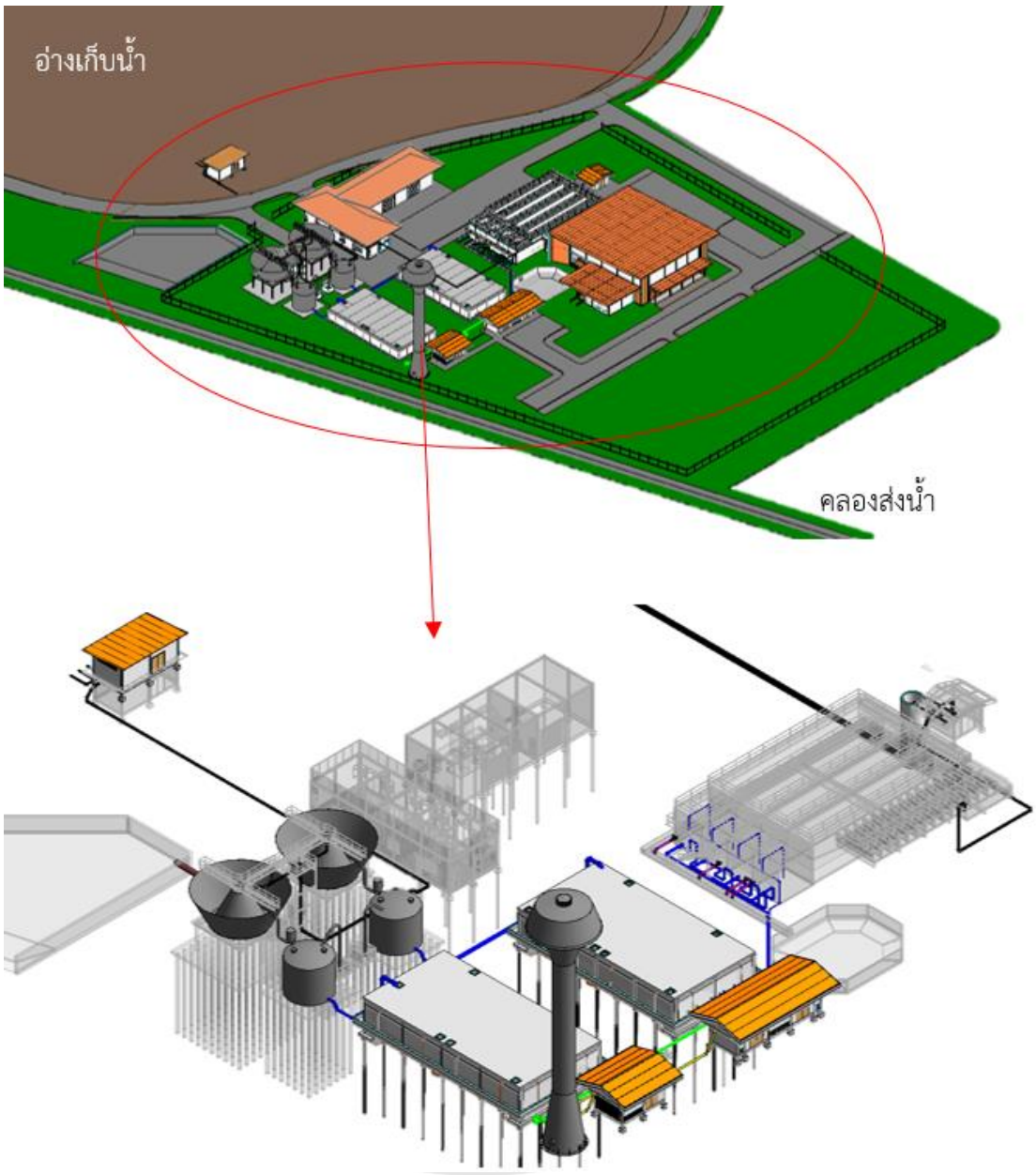
ภาพ 40 ตัวอย่างแบบจำลองรูปแบบมาตรฐาน IFC ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์

ภาพ 35 ถึงภาพ 40 ทั้งหมดเป็นลักษณะมาตรฐาน พัฒนาครั้งเดียวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายโครงการ และอยู่ในรูปแบบมาตรฐาน IFC ที่เป็นกลางทางแพลตฟอร์ม หากแต่กระบวนการส่งข้อมูลผ่านข้ามแพลตฟอร์ม ยังมีความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล

2.4 แหล่งน้ำ เช่น คลองส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำ ประตูน้ำ สระ ฯลฯ (ภาพ 41 และภาพ 42) พัฒนา BIM Model ระดับ Object ภายใต้คำสั่ง Form และ Solid ที่ระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป เพื่อรองรับการทำงานด้านวิศวกรรม เช่น จำลองสถานการณ์การไหล หาปริมาณดินขุด ดินถม (Cut & Fill) โดยอ้างอิงข้อมูลแบบแปลนพิมพ์เขียว และภาพถ่ายทางอากาศ ร่วมกับการสำรวจพื้นที่จริง

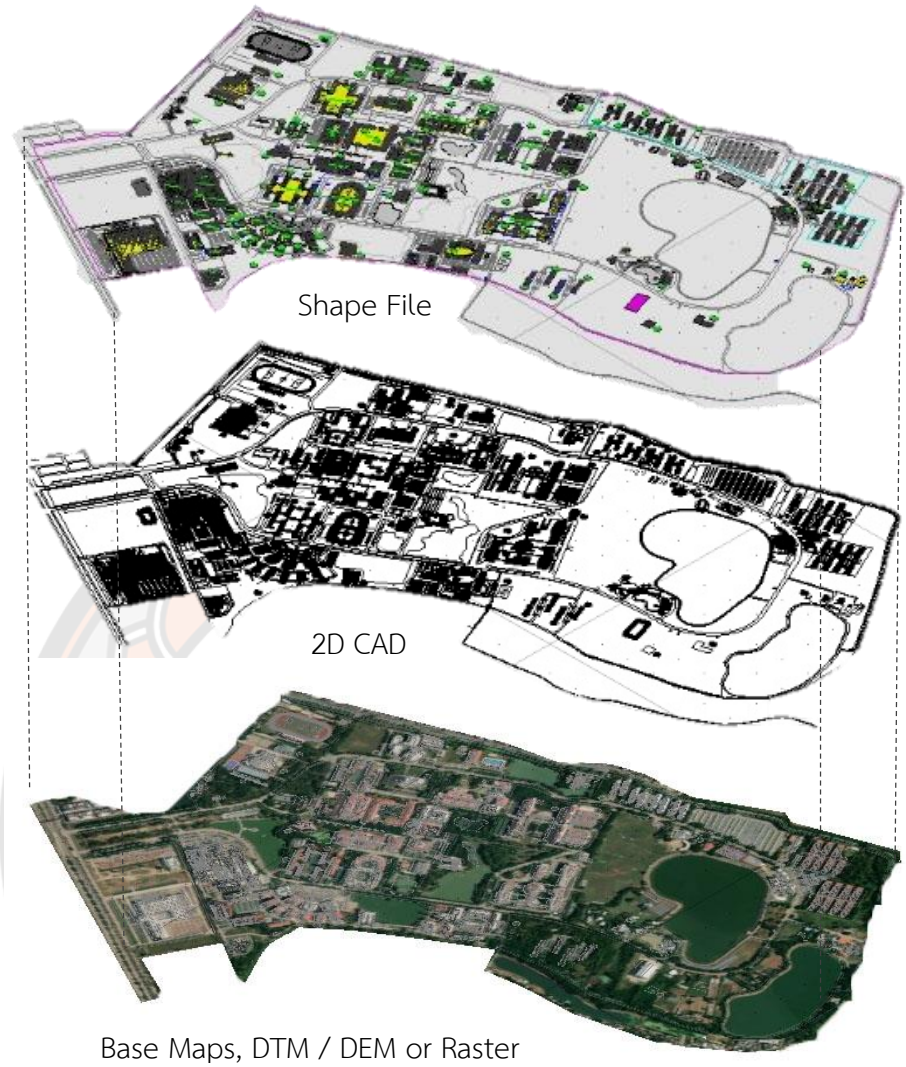


ภาพ 41 ตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศอ่างเก็บน้ำ และคลองส่งน้ำ



ภาพ 42 แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีผลิตน้ำประปา

2.5 ภูมิสถาปัตย์ ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม ใช้ผสมผสานระหว่างรูปแบบมาตรฐาน IFC, 2D CAD (ผังแม่บทของมหาวิทยาลัย) ข้อมูล Raster จากผู้ให้บริการออนไลน์ (Bing Maps), Shape File จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยเลือกแสดงเป็นลำดับชั้นข้อมูลซ้อนทับกันได้ตามต้องการ (ภาพ 43 และภาพ 44)



ภาพ 43 แผนที่ฐาน (Raster, Google Maps, Bing Maps, 2D CAD และ Shape file)

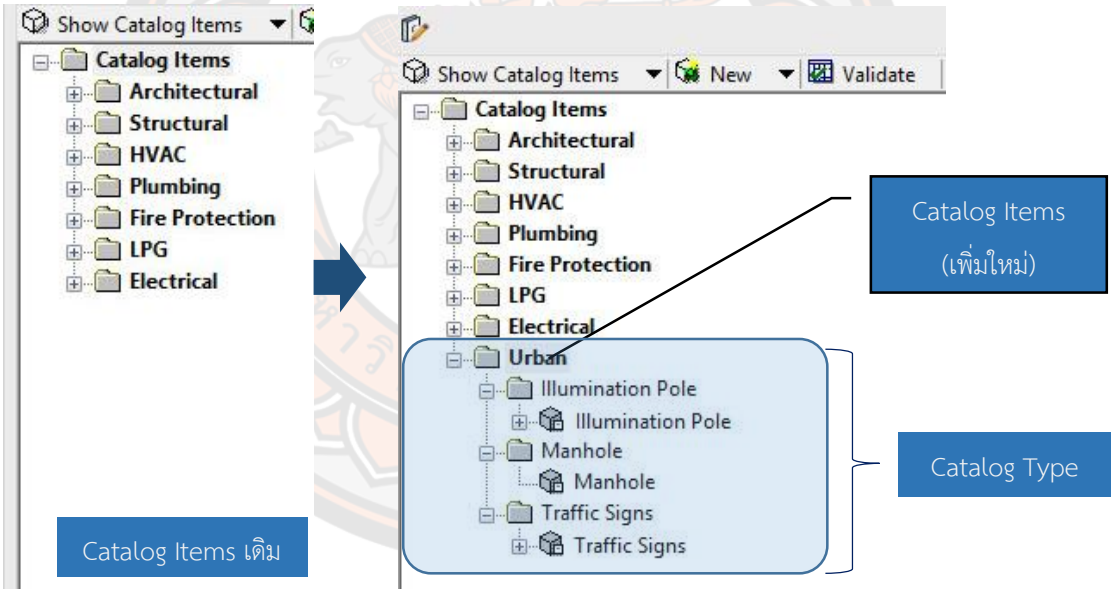
4.3 ผลการพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง

ผลพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง ประกอบด้วย ข้อมูลปฐมภูมิ (เพิ่มใหม่และติดมากับ Object จากฐานข้อมูลซอฟต์แวร์ตามหลักการ BIM) และข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น 2D CAD, แบบก่อสร้างจริง, เอกสารสัญญา, เอกสารการรับประกันผลงาน, BOQ, รายละเอียดคุณสมบัติวัสดุ, ผู้ผลิต, สถิติการใช้พลังงาน, ภาพถ่ายอาคาร หรืออื่น ๆ จำแนกตามลักษณะแบบจำลอง ดังนี้

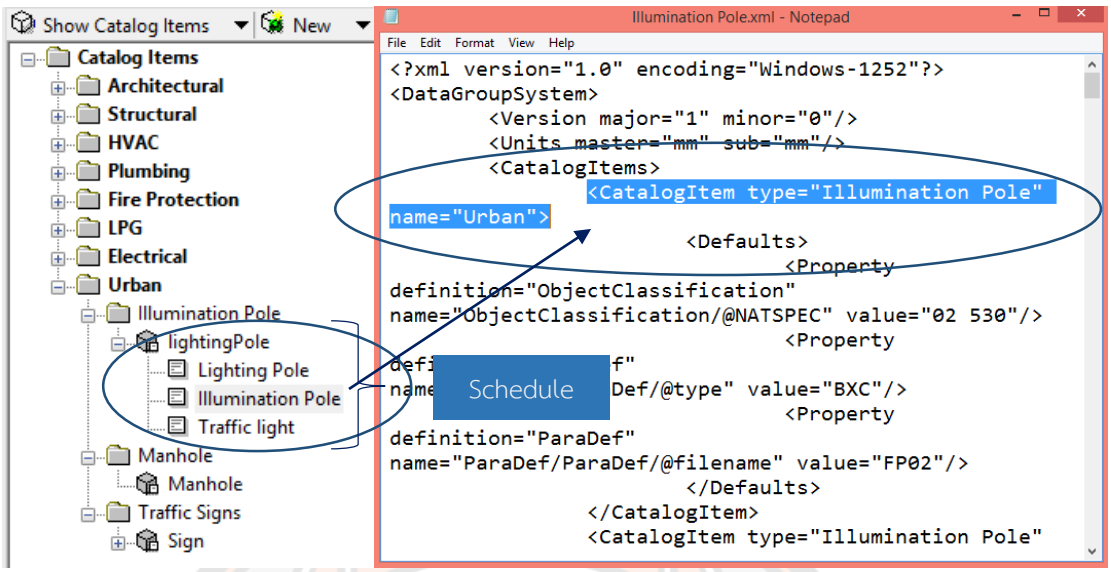
1. แบบจำลองอัจฉริยะ (BIM Model, Block Model และรูปแบบมาตรฐาน IFC) นอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิที่ติดมากับ Object ที่พัฒนาจากคำสั่งของซอฟต์แวร์ เช่น รหัสของวัตถุ,

สี, Level, Family & Part, ค่าทางเรขาคณิต, คุณสมบัติ และกลสมบัติของวัสดุ ฯลฯ ตามหลักการ BIM แล้ว การวิจัยนี้แก้ไขเพิ่มเติมประเภทชุดข้อมูล ในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์บางส่วน เพื่อให้จัดเก็บ และประมวลผลข้อมูลแบบปฐมภูมิได้ โดยเพิ่มหมวดการทำงาน (Catalog Items) “Urban” และ Catalog Type ขึ้นใหม่ ตามลักษณะแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ให้สอดรับกับวัตถุ เช่น ป้ายสัญญาณจราจร (Traffic Sign) ไฟสัญญาณจราจร (Traffic light) ไฟฟ้าส่องสว่าง (Illumination Pole) บ่อพักน้ำเสีย (Manhole) รอยชำรุดถนน (Roadway crack) ฯลฯ (ภาพ 44)

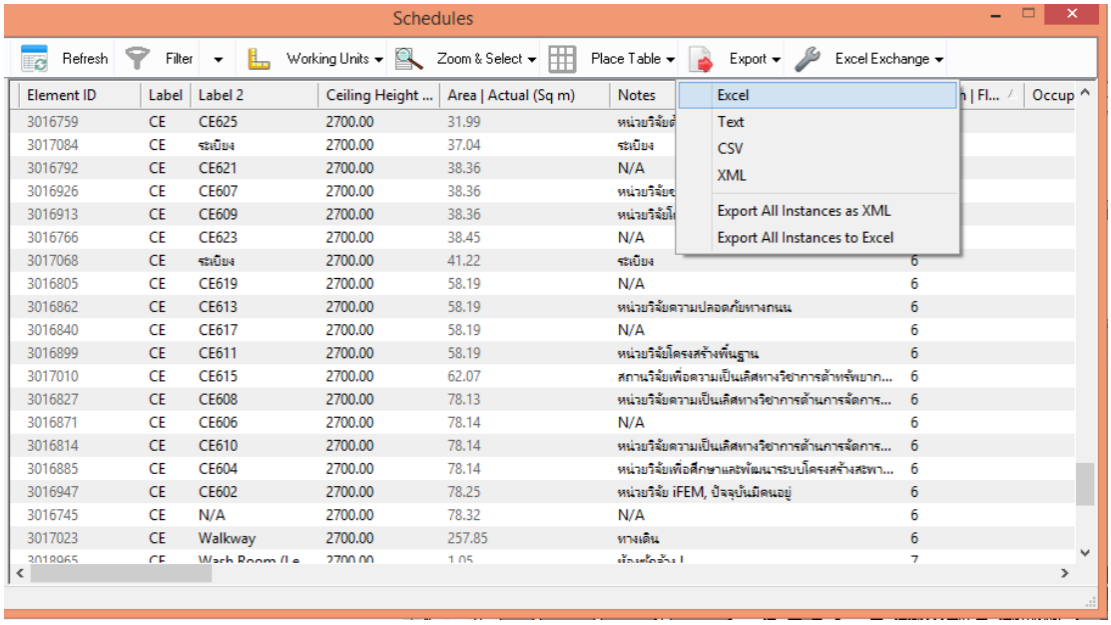
พร้อมพัฒนาไฟล์ Schedule ของแต่ละ Catalog Type ตามแต่ละประเภทชิ้นส่วนวัตถุ ด้วยการแก้ไข Coding Scrip ไฟล์ Schedule (ภาพ 45) เพื่อให้เชื่อมโยง จัดเก็บ และประมวลข้อมูลของแต่ละชิ้นส่วนวัตถุที่พัฒนาขึ้น เช่น ประมวลผลหาปริมาณวัสดุ บันทึกประวัติการซ่อมบำรุง การติดตั้ง ผู้ผลิต หรืออื่น ๆ ซึ่งสามารถกระทำผ่านคำสั่ง Schedule (ภาพ 46) อีกทั้ง สามารถส่งออกไปยังซอฟต์แวร์ที่ต้องการ หรือคุ้นเคยได้ เช่น Microsoft Excel เป็นต้น (ภาพ 47)



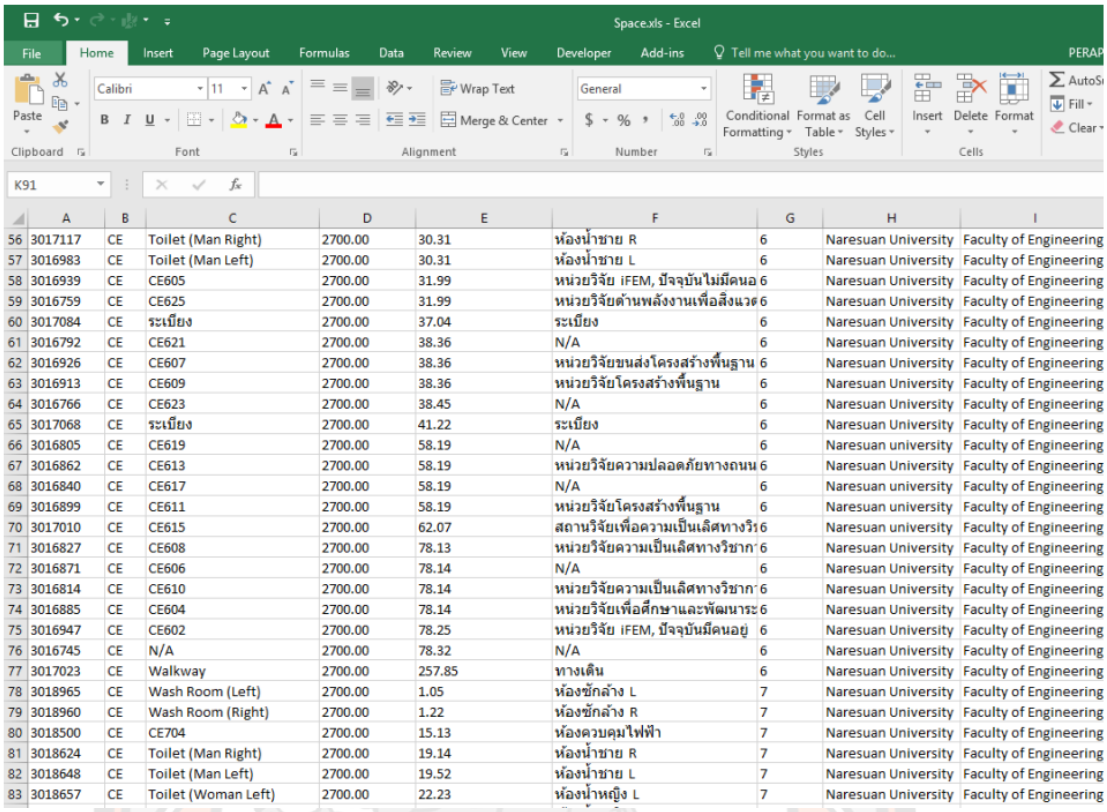
ภาพ 44 ผลการจัดทำหมวดฐานข้อมูล



ภาพ 45 Coding Scrip ไฟล์ Schedule ที่พัฒนาขึ้น



ภาพ 46 Schedule ข้อมูลปฐมภูมิ อาคารวิศวกรรมโยธา บนแพลตฟอร์ม BIM



Space.xls - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
56	3017117	CE	Toilet (Man Right)	2700.00	30.31	ห้องน้ำชาย R	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
57	3016983	CE	Toilet (Man Left)	2700.00	30.31	ห้องน้ำชาย L	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
58	3016939	CE	CE605	2700.00	31.99	หน่วยวิจัย iFEM, ปัจจุบันไม่มีคนอ	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
59	3016759	CE	CE625	2700.00	31.99	หน่วยวิจัยด้านพลังงานเพื่อสิ่งแวด	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
60	3017084	CE	ระเบียง	2700.00	37.04	ระเบียง	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
61	3016792	CE	CE621	2700.00	38.36	N/A	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
62	3016926	CE	CE607	2700.00	38.36	หน่วยวิจัยขนส่งโครงสร้างพื้นฐาน	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
63	3016913	CE	CE609	2700.00	38.36	หน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐาน	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
64	3016766	CE	CE623	2700.00	38.45	N/A	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
65	3017068	CE	ระเบียง	2700.00	41.22	ระเบียง	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
66	3016805	CE	CE619	2700.00	58.19	N/A	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
67	3016862	CE	CE613	2700.00	58.19	หน่วยวิจัยความปลอดภัยทางถนน	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
68	3016840	CE	CE617	2700.00	58.19	N/A	6	Naresuan university	Faculty of Engineering
69	3016899	CE	CE611	2700.00	58.19	หน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐาน	6	Naresuan university	Faculty of Engineering
70	3017010	CE	CE615	2700.00	62.07	สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิ	6	Naresuan university	Faculty of Engineering
71	3016827	CE	CE608	2700.00	78.13	หน่วยวิจัยความเป็นเลิศทางวิชาก	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
72	3016871	CE	CE606	2700.00	78.14	N/A	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
73	3016814	CE	CE610	2700.00	78.14	หน่วยวิจัยความเป็นเลิศทางวิชาก	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
74	3016885	CE	CE604	2700.00	78.14	หน่วยวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาระ	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
75	3016947	CE	CE602	2700.00	78.25	หน่วยวิจัย iFEM, ปัจจุบันมีคนอยู่	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
76	3016745	CE	N/A	2700.00	78.32	N/A	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
77	3017023	CE	Walkway	2700.00	257.85	ทางเดิน	6	Naresuan University	Faculty of Engineering
78	3018965	CE	Wash Room (Left)	2700.00	1.05	ห้องซักล้าง L	7	Naresuan University	Faculty of Engineering
79	3018960	CE	Wash Room (Right)	2700.00	1.22	ห้องซักล้าง R	7	Naresuan University	Faculty of Engineering
80	3018500	CE	CE704	2700.00	15.13	ห้องควบคุมไฟฟ้า	7	Naresuan University	Faculty of Engineering
81	3018624	CE	Toilet (Man Right)	2700.00	19.14	ห้องน้ำชาย R	7	Naresuan University	Faculty of Engineering
82	3018648	CE	Toilet (Man Left)	2700.00	19.52	ห้องน้ำชาย L	7	Naresuan University	Faculty of Engineering
83	3018657	CE	Toilet (Woman Left)	2700.00	22.23	ห้องน้ำหญิง L	7	Naresuan University	Faculty of Engineering

ภาพ 47 ข้อมูลปฐมภูมิอาคารวิศวกรรมโยธา ที่ถูกส่งออกมา Microsoft Excel

สำหรับภาพรวมข้อมูลที่บรรจุในชิ้นส่วนแบบจำลอง ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิลักษณะไม่ใช่กราฟิก ดังตาราง 5 อย่างไรก็ตาม สำหรับข้อมูลทุติยภูมิภายนอก ที่ไม่ใช่ข้อมูลอัจฉริยะส่วนใหญ่เป็นไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้วิธีแนบไฟล์ เชื่อมโยงกับแฟ้มข้อมูลภายนอก (ตาราง 6)

2. ประเภทแบบจำลองไม่อัจฉริยะ (Reality Model, Point Cloud Model, Raster, 2D CAD, Digital Terrain Model, Base Maps และ Shape File) ข้อมูลปฐมภูมิแบบกราฟิก ทั้งรูปทรง มิติ ขนาด สามารถใช้เครื่องมือบนซอฟต์แวร์วัด หรือแปลผลได้ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีแนบไฟล์เชื่อมโยงกับแฟ้มข้อมูลภายนอก (ตาราง 6)

ตาราง 5 สรุปข้อมูลที่บรรจุในแบบจำลอง

ประเภทแบบจำลอง	ข้อมูลปฐมภูมิ					ข้อมูลทุติยภูมิ
	ชื่อไฟล์	Level	Family	Part	Catalog Data	
อาคาร (BIM และ Block Model)	ชื่ออาคาร_วดป.ที่พัฒนา	ชื่อวัตถุ (ตามจริง)	ชื่อหมวดวัสดุ	ชนิด / รุ่น / ขนาด / วัสดุ	- ID / Code / Name - ประเภทอาคาร / คณะ / เจ้าของ / ผู้ดูแล - ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร มิติ รูปทรง จำนวนชั้น จำนวนห้อง พื้นที่ห้อง รายละเอียดห้อง ปริมาณวัสดุ คุณสมบัติวัสดุ - อื่น ๆ ตามระดับ Object ที่พัฒนา	- แบบพิมพ์เขียว (PDF) - 2D CAD (.dwg) - บัญชีแสดงปริมาณงาน และวัสดุ (.xlsx, PDF) - ค่าใช้จ่ายไฟฟ้า (.xlsx)
อาคาร (Reality Model)	ชื่ออาคาร_วดป.ที่พัฒนา	ชื่ออาคาร	-	-	-	- แบบพิมพ์เขียว (PDF) - 2D CAD (.dwg) - รูปถ่าย
ท่อ และวัตถุใต้ดิน (BIM)	ชื่อท่อ / ชื่อวัตถุ_วดป.ที่พัฒนา	ประเภทท่อหรือบ่อพัก(น้ำดี / น้ำเสีย / สายไฟ)	ชื่อหมวดวัสดุ	ชนิด / รุ่น / ขนาด / วัสดุ	- ID / Code / Name - ประเภทท่อ / สายหลัก / สายรอง / เจ้าของ / ผู้ดูแล - ที่ตั้ง พิกัด ชนิดท่อ มิติ รูปทรง ความยาว ระดับ ปริมาณวัสดุ คุณสมบัติวัสดุ - อื่น ๆ ตามระดับ Object ที่พัฒนา	- แบบพิมพ์เขียว (PDF) - 2D CAD (.dwg)
ถนน (Reality Model)	ชื่อถนน_วดป.ที่พัฒนา	ประเภทถนน (สายหลัก / สายรอง)	-	-	-	- แบบพิมพ์เขียว (PDF) - 2D CAD (.dwg) - รูปถ่าย - แบบประเมินสภาพถนน (.xlsx)

ตาราง 5 (ต่อ)

ประเภทแบบจำลอง	ข้อมูลปฐมภูมิ					ข้อมูลทุติยภูมิ
	ชื่อไฟล์	Level	Family	Part	Catalog Data	
ทางเดินเท้า (BIM และ IFC)	ชื่อถนน_วดป.ที่พัฒนา	ประเภทถนน	ชื่อหมวดวัสดุ	ชนิด / รุ่น / ขนาด / วัสดุ	- ID / Code / Name - ประเภทชิ้นงาน / หมวดหมู่ / เจ้าของ / ผู้ดูแล - ที่ตั้ง พิกัด ชนิด มิติ รูปทรง ความยาว ระดับ คุณสมบัติวัสดุ ปริมาณวัสดุ จำนวน - อื่น ๆ ตามระดับ Object ที่พัฒนา	- แบบพิมพ์เขียว (PDF) - 2D CAD (.dwg)
วัตถุเมือง สิ่งอำนวยความสะดวก, ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม (BIM และ IFC)	ชื่อวัตถุ_วดป.ที่พัฒนา	ประเภทวัตถุ (ป้าย / เสาไฟ / เก้าอี้ ฯลฯ)	ชื่อหมวดวัสดุ	ชนิด / รุ่น / ขนาด / วัสดุ	- ID / Code / Name - ประเภทชิ้นงาน / หมวดหมู่ / เจ้าของ / ผู้ดูแล - ที่ตั้ง พิกัด ชนิด มิติ รูปทรง คุณสมบัติวัสดุ ปริมาณวัสดุ จำนวน - อื่น ๆ ตามระดับ Object ที่พัฒนา	- แบบมาตรฐานพัฒนา เช่น แบบมาตรฐานกรมทางหลวง แค็ตตาล็อกวัสดุจากผู้ผลิต ฯลฯ

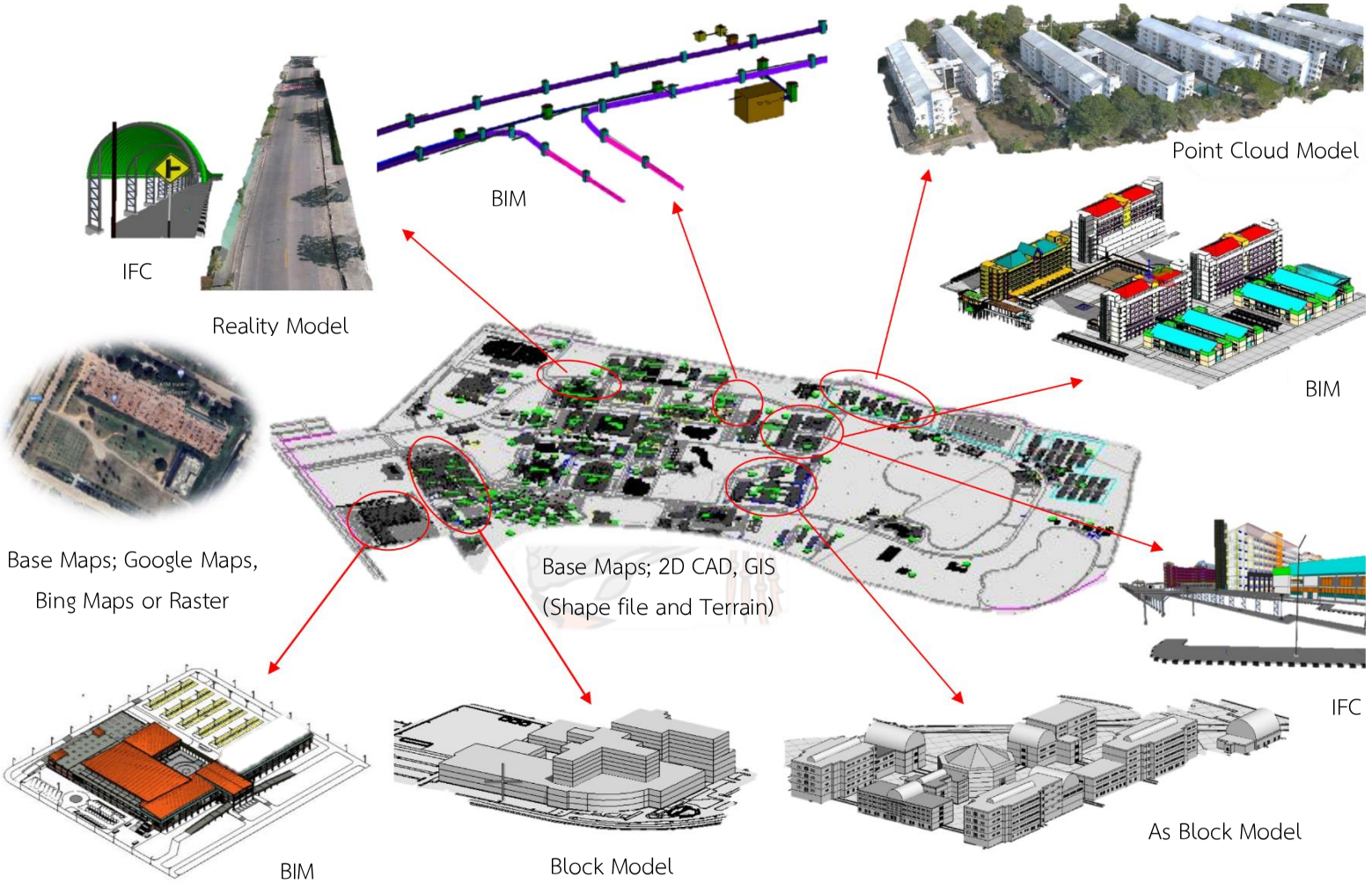
หมายเหตุ : วดป ที่พัฒนา หมายถึง วัน เดือน ปี ที่พัฒนาแบบจำลอง

ทั้งนี้ ฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น ผลลัพธ์แสดงอยู่ในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ (.dgn) ไม่สามารถเสนอในรายงานนี้ทั้งหมดได้ จึงยกตัวอย่างเฉพาะฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศท่อ ประปา และบ่อพักน้ำเสีย (ภาคผนวก ข)

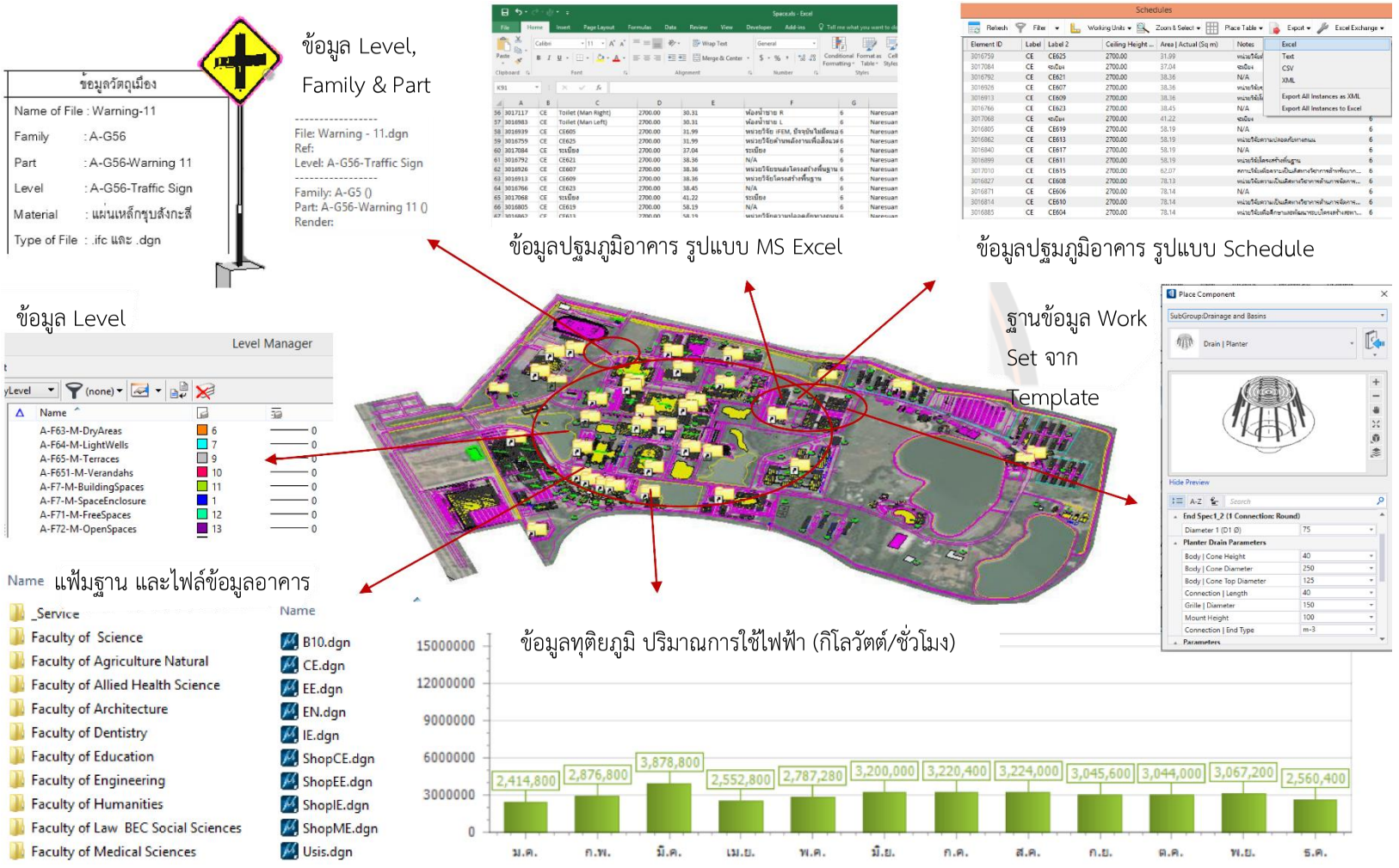
4.4 ผลบูรณาการแบบจำลอง บนแพลตฟอร์ม

การวิจัยนี้ พัฒนาแบบจำลองย่อยทั้งหมด 61 รายการ (ตาราง 6) ครอบคลุมทุกประเภทแบบจำลอง ได้แก่ BIM, Block Model, IFC, Reality Model, Point Cloud Model, Digital

Terrain Model, Raster, 2D CAD, Shape File และ Base Maps พร้อมพัฒนาฐานข้อมูล ทั้งแบบปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ได้แก่ งานอาคาร (ทั้งอาคารเก่า และอาคารใหม่) งานโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ ถนน, ทางเดินเท้า, ระบบประปา และสุขาภิบาล, ระบบบำบัดน้ำเสีย, ไฟฟ้าส่องสว่าง, ไฟสัญญาณจราจร, ป้ายเตือน, ไม้ยืนต้น และไม้พุ่ม ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ภาพรวมผลบูรณาการแบบจำลอง บนแพลตฟอร์ม ดังภาพ 48 และภาพ 49



ภาพ 48 ผลบูรณาการแบบจำลองสารสนเทศเมือง



ภาพ 49 ผลบูรณาการฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง

ตาราง 6 สรุปข้อมูลในแฟ้มของแต่ละแบบจำลอง

ที่	ชื่อแฟ้มข้อมูล	ปฐมภูมิ				ทุติยภูมิ				หมายเหตุ
		BIM Model	Block Model	IFC	Reality Model	แบบสองมิติ	การใช้พลังงาน	การซ่อมบำรุง	อื่น ๆ	
1	คณะวิทยาศาสตร์		✓			✓				
2	คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม		✓			✓				
3	คณะสหเวชศาสตร์		✓			✓				
4	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศิลปะและการออกแบบ		✓			✓				
5	คณะทันตแพทยศาสตร์		✓			✓				
6	คณะศึกษาศาสตร์		✓			✓				
7	คณะวิศวกรรมศาสตร์	✓				✓	✓	✓[1]		
8	คณะมนุษยศาสตร์		✓			✓				
9	คณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ และการสื่อสาร		✓							
10	คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์		✓							
11	คณะพยาบาลศาสตร์		✓			✓				
12	คณะเภสัชศาสตร์		✓			✓				
13	คณะสาธารณสุขศาสตร์		✓			✓				
14	กองบริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร		✓			✓				
15	ห้องชมรม		✓							
16	กองอาคารและสถานที่		✓							

ตาราง 6 (ต่อ)

ที่	ชื่อแฟ้มข้อมูล	ปฐมภูมิ				ทุติยภูมิ				หมายเหตุ
		BIM Model	Block Model	IFC	Reality Model	แบบสองมิติ	การใช้พลังงาน	การซ่อมบำรุง	อื่น ๆ	
17	พิพิธภัณฑ์ผ้า		✓			✓				
18	อุทยานวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร		✓							
19	ที่ทำการ รปภ.		✓							
20	โรงพยาบาล		✓			✓				
21	อาคารกีฬาในร่ม		✓			✓				
22	อาคารพิพิธภัณฑ์เพื่อชีวิต		✓			✓				
23	มิ่งขวัญ		✓			✓				
24	มน.นิเวศ อาคาร 7 ถึง 12 อาคาร 14 และอาคาร 15				✓					
25	อาคารอเนกประสงค์		✓							
26	โรงอาหาร NU Canteen	✓								
27	หอพักนิสิตใน		✓		✓	✓				
28	สำนักหอสมุด		✓			✓				
29	โรงอาหาร NU Square	✓			✓	✓				
30	สำนักงานอธิการบดี		✓			✓				
31	สถานีตำรวจชุมชน		✓			✓				
32	สระว่ายน้ำสุพรรณกัลยา		✓			✓				

ตาราง 6 (ต่อ)

ที่	ชื่อแฟ้มข้อมูล	ปฐมภูมิ				ทุติยภูมิ				หมายเหตุ
		BIM Model	Block Model	IFC	Reality Model	แบบสองมิติ	การใช้พลังงาน	การซ่อมบำรุง	อื่น ๆ	
33	สถานีไฟฟ้าย่อย		✓			✓				
34	ปราบไตรจักร		✓							
35	เพราพิลาศ		✓							
36	อาคารเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา		✓			✓				
37	อาคารจอดรถตึกเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา		✓							
38	ถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึง ประตู 5				✓			✓		
39	ศิลป์ศาลา		✓			✓				
40	โรงภาพยนต์		✓							
41	โรงบำบัดน้ำเสีย		✓							
42	โรงผลิตน้ำประปา	✓				✓				
43	อาคารวิสุทธิ์กษัตริย์		✓							
44	หลังคาคลุมทางเดินเท้า	✓[2]		✓						
45	ทางเดินเท้า	✓[2]		✓						
46	เสาไฟฟ้าส่องสว่าง	✓[2]		✓				✓[2]		
47	ป้ายจราจร	✓[2]		✓				✓[2]		
48	อาคารอุทยานสมเด็จพระนเรศวรมหาราช	✓								

ตาราง 6 (ต่อ)

ที่	ชื่อแฟ้มข้อมูล	ปฐมภูมิ				ทุติยภูมิ				หมายเหตุ
		BIM Model	Block Model	IFC	Reality Model	แบบสองมิติ	การใช้พลังงาน	การซ่อมบำรุง	อื่น ๆ	
49	ธนาคาร ร้านค้า หอพักนิสิตใน		✓							
50	อาคารเก็บเอกสารกองคลัง	✓				✓			✓	
51	โรงเรียนสาธิตอนุบาลฯ					✓			✓	
52	สถานีวิทยุกระจายเสียง มหาวิทยาลัยนเรศวร	✓				✓				
53	วัตถุใต้ดิน	✓		✓		✓				

หมายเหตุ ; [1] เฉพาะอาคารวิศวกรรมโยธา, [2] เฉพาะถนนนเรศวร ช่วงประตู 4 ถึงประตู 5

จากตาราง 6 (เห็นได้ว่า) จากการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ในแต่ละองค์ประกอบตามรายการต่าง ๆ นั้น มีการจัดทำฐานข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะฐานข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งเป็นไปตามข้อมูลที่สืบค้นได้ ซึ่งสามารถเพิ่มเติมแก้ไขได้ภายหลัง โดยกระทำผ่านแฟ้มข้อมูล (Folder และ Sub Folder) ของอาคารนั้น ๆ โดยมิต้องแก้ไขในแบบจำลองแต่อย่างใด

4.5 ผลการสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ

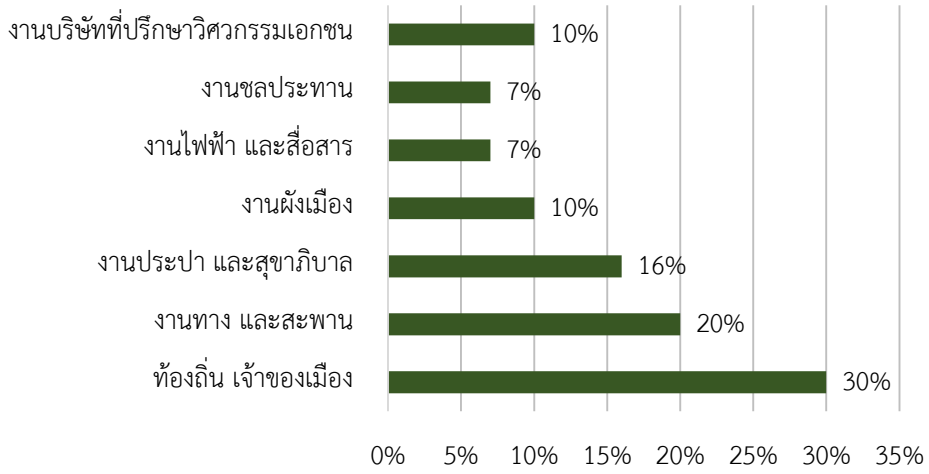
การสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญแบ่งเป็นสองประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ประเด็นทั่วไป สัมภาษณ์ประสบการณ์ ระยะเวลาการใช้งาน ความเกี่ยวข้องกับ BIM นโยบายสนับสนุนการใช้งาน BIM ของผู้บริหารองค์กร และช่วงดำเนินการก่อสร้างที่นำ BIM ไปใช้ และ 2) ประเด็นเกี่ยวกับ BIM และ UIM สัมภาษณ์ลักษณะการใช้งาน ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ ทั้งประเภทแบบจำลอง และข้อมูลที่ต้องการพัฒนา (กราฟิก และไม่กราฟิก) ทั้งที่ใช้ในหน่วยงาน และจำเป็นต้องใช้จากหน่วยงานอื่น และคำถามแสดงความคิดเห็นอื่น ๆ ดังนี้

สัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาการทำงานเกี่ยวกับวิศวกรรมโยธา ก่อสร้างและจัดการเมือง (อาจเคยใช้ หรือไม่เคยใช้ BIM ด้วยตนเอง แต่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ BIM เช่น เป็นผู้จัดการโครงการ ผู้บริหาร หรือเจ้าของงาน ที่มีส่วนร่วมกับ BIM ในการทำงาน) จำนวน 30 คน ประกอบด้วย ผู้บริหาร หรือผู้กำหนดนโยบายเมือง หรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเมือง หรือท้องถิ่น จำนวนเก้าคน (ร้อยละ 30), งานทาง สะพาน ทางพิเศษ จำนวนหกคน (ร้อยละ 20), งานประปา และสุขาภิบาล จำนวนห้าคน (ร้อยละ 16), งานผังเมือง จำนวนสามคน (ร้อยละ 10), งานไฟฟ้า และสื่อสาร จำนวนสองคน (ร้อยละ 7), งานชลประทาน จำนวนสองคน (ร้อยละ 7) และงานบริษัทที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมเอกชน จำนวนสามคน (ร้อยละ 10) (ภาพ 50)

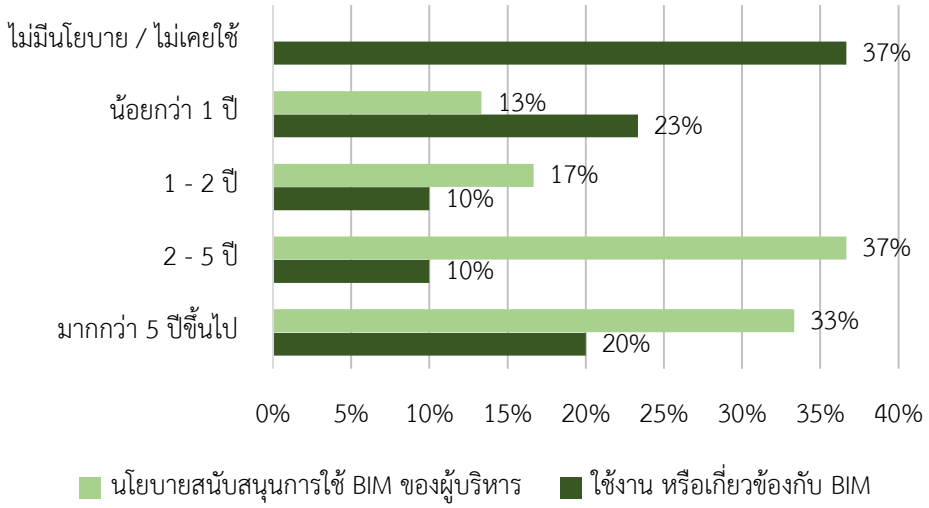
ปรากฏว่า มีผู้ถูกสัมภาษณ์มากถึงร้อยละ 37 ที่ไม่เคยใช้งาน BIM มาก่อน ขณะที่กลุ่มผู้ที่เคยใช้งาน หรือเกี่ยวข้องกับ BIM ที่ใช้งานมากกว่าห้าปี มีเพียงร้อยละ 20 ซึ่งส่วนใหญ่ใช้งานน้อยกว่าหนึ่งปี คิดเป็นร้อยละ 23 ด้านนโยบายสนับสนุนการทำงานด้าน BIM ของหน่วยงาน ปรากฏว่าในช่วงสองถึงห้าปีที่ผ่านมา หน่วยงานมีความตื่นตัวในการนำ BIM เข้ามาช่วยสนับสนุนการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 37 มีเพียงร้อยละ 33 เท่านั้น ที่มีนโยบายสนับสนุนนำ BIM เข้ามาช่วยการทำงานมากกว่าห้าปี และไม่มีหน่วยงานใดที่ไม่สนับสนุนการทำงานด้วย BIM (ภาพ 51)

ทั้งนี้ สำหรับผู้ที่เคยใช้งาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับ BIM ส่วนใหญ่ใช้ช่วงเตรียมก่อสร้าง เช่น เตรียมแบบก่อสร้าง การทำแบบขยาย การหาปริมาณงาน และวัสดุ เป็นต้น คิดเป็นร้อยละ 53

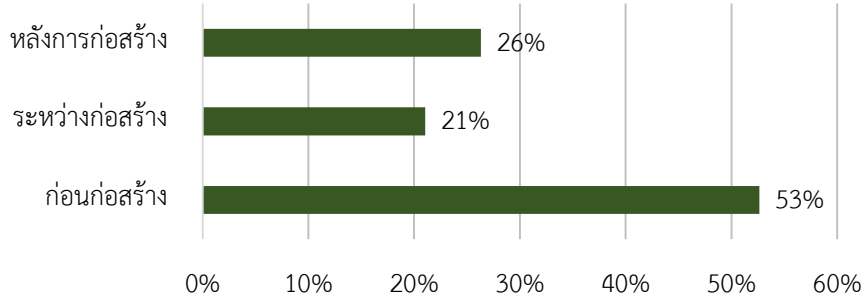
ขณะที่ขั้นตอนระหว่างก่อสร้าง และหลังก่อสร้าง คิดเป็นร้อยละ 21 และ 26 ตามลำดับ (ภาพ 52) ทั้งนี้ ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ (ภาคผนวก ค)



ภาพ 50 ร้อยละผู้เชี่ยวชาญสาขาต่าง ๆ ที่สัมภาษณ์



ภาพ 51 ระยะเวลาใช้งาน ความเกี่ยวข้อง และนโยบายสนับสนุน



ภาพ 52 ร้อยละการใช้งาน BIM ของผู้เชี่ยวชาญ ในช่วงต่าง ๆ ของงานก่อสร้าง

จากผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ (ภาคผนวก ค) สรุปได้ว่า หากเป็นแบบจำลองสารสนเทศที่หน่วยงานพัฒนาขึ้นเอง ต้องการระดับ As Built Drawing หรือระดับพัฒนา 350 ขึ้นไป (ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่สืบค้นได้) ข้อมูลแบบกราฟิก แสดงรูปทรง ขนาด มิติ ตำแหน่ง พิกัด ของสิ่งปลูกสร้าง ขณะที่ข้อมูลแบบไม่กราฟิกต้องการข้อมูลครบถ้วน ตั้งแต่กระบวนการออกแบบ ก่อสร้าง และหลังการส่งมอบโครงการ ส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อการให้บริการประชาชน และเป็นฐานข้อมูลสำหรับวางแผนต่อขยาย พัฒนาโครงการ หรือโครงสร้างพื้นฐานให้กับชุมชน อีกทั้ง สะดวกในการค้นหาเอกสาร กรณีโดนเรียกตรวจสอบจากหน่วยงานตรวจสอบต่าง ๆ

สำหรับแบบจำลองสารสนเทศที่จำเป็นต้องใช้จากหน่วยงานอื่น สำหรับบูรณาการภารกิจระหว่างหน่วยงาน ข้อมูลกราฟิกต้องการระดับแบบจำลองบล็อก ที่ระดับพัฒนา 200 ถึง 300 เนื่องจากแบบจำลองสารสนเทศที่ให้ข้อมูลแบบกราฟิกสูงเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรคอมพิวเตอร์เกินความจำเป็น และมีโอกาสเกิดความสับสนในข้อมูลได้ อีกทั้ง หากเป็นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับหน่วยงาน หรือภารกิจ การมีข้อมูลมากเกินไป อาจเกินความจำเป็น

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองบล็อกที่ต้องการสำหรับเป็นฐานข้อมูลการทำงานดังกล่าว ต้องมีข้อมูลไม่กราฟิกบรรจุในแบบจำลองด้วย เช่น ชื่อ พิกัด มิติ ขนาด รูปทรง เจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ แนวเขตที่ดิน โฉนด และอื่น ๆ ที่เป็นข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลทุกอย่างต้องเป็นระเบียบทำความเข้าใจได้ง่าย (อาจดำเนินการด้วยรหัสอาคาร การแบ่งสี หรืออื่น ๆ)

ลำดับชั้นข้อมูลแบบไม่กราฟิก จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ (ตาราง 7) ซึ่งหากเปรียบเทียบกับโครงสร้างข้อมูลที่ไม่ใช่เรขาคณิตที่ต้องการ สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพอาคาร ตามที่ Becerik-Gerber et al. (2012) เสนอ (ภาพ 53) นั้นมีความสอดคล้องกัน แตกต่างกันเฉพาะข้อมูลในภารกิจของหน่วยงาน เช่น ปริมาณน้ำไหลผ่าน การใช้พลังงาน ปริมาณจราจร เป็นต้น

(บางหน่วยงานให้ความสำคัญกับข้อมูลชั้นนี้เป็นอย่างมาก เพราะใช้สำหรับกำหนดนโยบาย และการพัฒนาต่อไป)

ตาราง 7 ชั้นข้อมูลแบบไม่กราฟิกที่ต้องการในแบบจำลองสารสนเทศ

กรณีใช้ในหน่วยงาน	**กรณีจำเป็นต้องใช้จากหน่วยงานอื่น**
1. รหัส ID / Name	1. รหัส ID / Name
2. ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้าง จำนวนชั้น จำนวนห้อง มิติภายนอกของอาคาร	2. ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้าง จำนวนชั้น จำนวนห้อง มิติภายนอกของอาคาร
3. ประเภทองค์กร / กิจการอาคาร / เจ้าของ / หน่วยงานรับผิดชอบ	3. ประเภทองค์กร / กิจการอาคาร / เจ้าของ / หน่วยงานรับผิดชอบ
4. วัน เดือน ปี ที่ก่อสร้าง ชื่อผู้ขออนุญาต ฯลฯ	
5. แบบแปลน เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการดำเนินงานทางกฎหมาย หรือเอกสารที่เป็นข้อมูลเฉพาะของอาคาร ฯลฯ	
6. สถานะการใช้งาน ประวัติการซ่อมบำรุง รื้อถอน ติดตั้ง ข้อมูลการใช้พลังงาน สมรรถนะอาคาร ฯลฯ	
7. ข้อมูลอื่น ๆ (ตามภารกิจ)	

หมายเหตุ : เรียงจากความเป็นพื้นฐานมาก ไปหาความเป็นพื้นฐานน้อย

ภาพ 53 โครงสร้างข้อมูลที่ไม่ใช่ทางกราฟิก หรือทางเรขาคณิตที่ต้องการสำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพอาคาร

ที่มา : Becerik-Gerber et al. (2012)

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเฉพาะผลการสัมภาษณ์ ผู้เชี่ยวชาญจากกองอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในฐานะเป็นผู้เกี่ยวข้องกับพื้นที่กรณีศึกษาโดยตรง (Local Administration Officer) เกี่ยวกับการนำแบบจำลองไปใช้ในการทำงานปัจจุบัน โดยเฉพาะด้านการจัดการทรัพยากรกายภาพของทางมหาวิทยาลัย ได้ว่า หากนำระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือแบบจำลองสารสนเทศเมืองมาใช้ เห็นควรต้องมีแผนก หรือทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพราะด้วยงานในภารกิจปัจจุบันเป็นงานเร่งด่วน หากใช้ระเบียบวิธีดังกล่าวทั้งหมด อาจไม่ทันต่อเหตุการณ์ เพราะการพัฒนาแบบจำลองในระยะเริ่มต้น ใช้เวลามากกว่าวิธีดั้งเดิม (2D CAD) อีกทั้งข้อมูลที่นำมาพัฒนาแบบจำลอง มีเป็นจำนวนมาก ต้องมีการตรวจทานข้อมูล หรือลงพื้นที่สำรวจก่อนพัฒนา ซึ่งเป็นงานที่เน้นความถูกต้องเป็นอย่างมาก อีกทั้ง จำเป็นต้องมีทักษะการใช้งานซอฟต์แวร์และแพลตฟอร์ม รวมถึงต้องมีอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง

อย่างไรก็ตาม หากมีแบบจำลองสารสนเทศเมืองดังกล่าว จะมีประโยชน์ และเป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะด้านการซ่อมบำรุง เช่น หากหน่วยงานใดในมหาวิทยาลัยต้องการสอบถามข้อมูล (พื้นที่ห้อง อาคาร วัสดุ ฯลฯ) มายังกองอาคารฯ เดิมใช้วิธีลงพื้นที่ตรวจสอบค้นหาจาก 2D CAD หรือพิมพ์เขียว ซึ่งใช้ระยะเวลาพอสมควร บางครั้งข้อมูลที่มีไม่ล่าสุด ซ้ำซ้อน ไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริงปัจจุบัน ทำให้ต้องแก้ไขข้อมูลก่อนนำส่ง ส่งผลให้เกิดภาระงานเพิ่มขึ้น แต่หากนำระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองดังกล่าวมาใช้ อาจทำให้ประหยัดระยะเวลาในการทำงานได้มาก และการจัดเก็บข้อมูลจะเป็นระเบียบง่ายต่อการค้นหามากขึ้น

4.6 ผลประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง ด้านงานวิศวกรรมโยธา

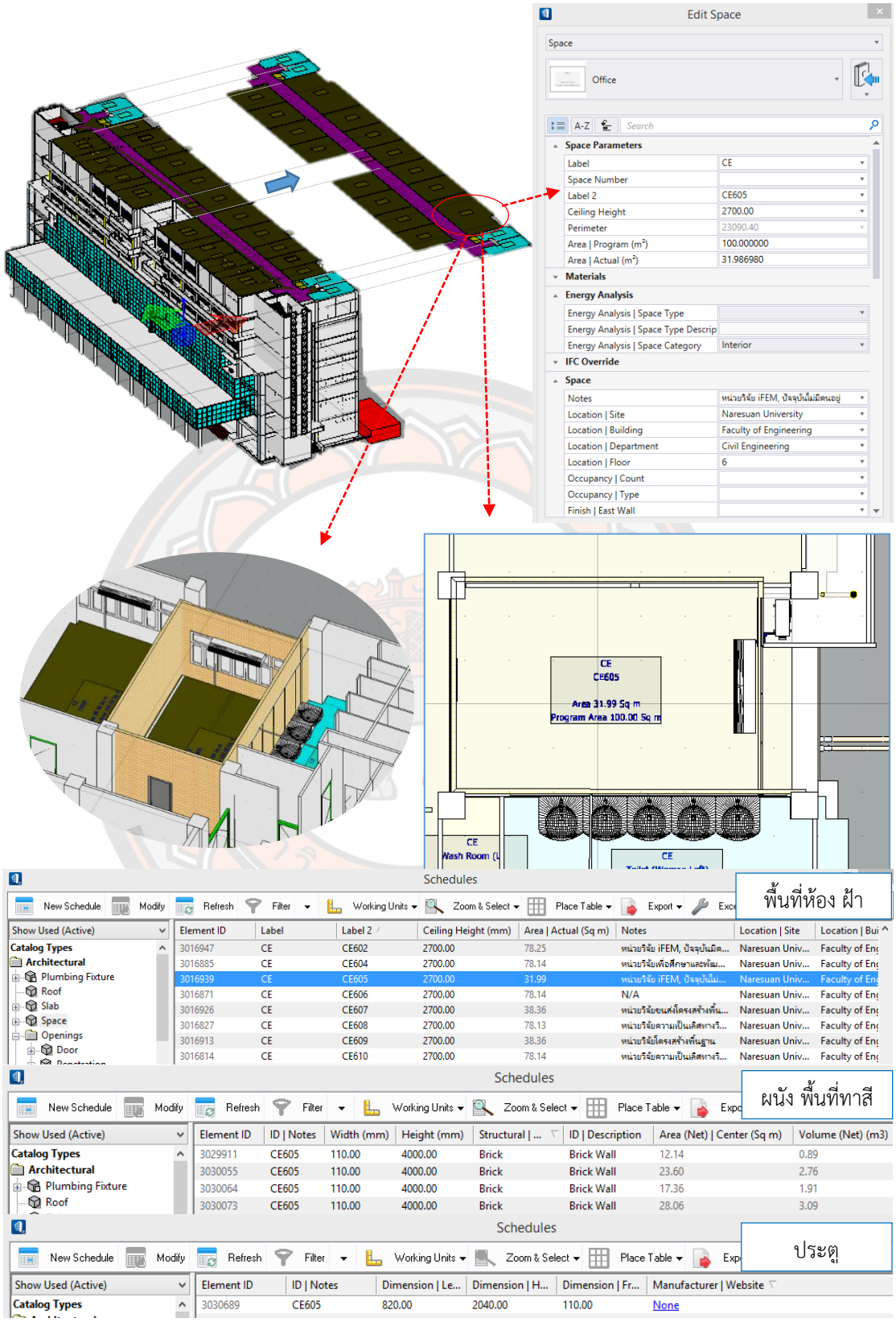
เนื่องจากการวิจัยนี้เสนอระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อเป็นฐานข้อมูลจัดการทรัพยากรกายภาพ สนับสนุนงานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง ครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตสิ่งปลูกสร้าง โดยทดสอบการทำงานร่วมกัน และความเป็นอัตโนมัติของข้อมูล ดังนี้

1. ปรับปรุงอาคาร ห้องสำนักงาน

ทดลองหาพื้นที่ทาสีผนังภายใน พื้นห้อง ฝ้า ประตู หน้าต่าง ห้อง CE605 ชั้น 6 อาคารวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อการปรับปรุงสภาพห้องที่มีน้ำรั่ว ฝ้าชำรุด และมีคราบน้ำบริเวณพื้น และผนัง (ภาพ 54)

ปรากฏว่า ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง ที่พัฒนาขึ้นสามารถหาพื้นที่ทาสีภายใน หาพื้นห้อง ฝ้า ประตู หน้าต่าง และอื่น ๆ ได้ โดยประมวลผ่านคำสั่ง Schedule จากนั้นอ่านค่าผลลัพธ์ตามต้องการ (ภาพ 55) สรุปได้ดังตาราง 8 โดยผลลัพธ์ดังกล่าว มีความใกล้เคียงกับการสำรวจพื้นที่จริง (ขึ้นอยู่กับระดับพัฒนาแบบจำลอง)

ภาพ 54 สภาพห้องกรณีศึกษา



ภาพ 55 ทดลองใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ปรับปรุงห้องสำนักงาน

ตาราง 8 รายการปรับปรุงห้อง CE 605

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)		ค่าแรงงาน (บาท)		รวมค่าแรงและวัสดุ
				ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน	
1	ฝ้ายิปซัมบอร์ด พร้อมโครงคร่าว	32	ตร.ม.					
2	ทากันซึมระเบียงชั้น 7	70	ตร.ม.					
3	ทาสีผนัง (ภายใน)	48	ตร.ม.					
4	เคลือบขัดผิวพื้นห้อง	32	ตร.ม.					
5	Roof Drain พร้อมท่อ PVC	1	ชุด					
6	ทำความสะอาดหน้าต่าง	4	บาน					
7	ลูกบิดประตูห้อง	1	ชุด					

ในขณะเดียวกัน ได้ทดลองประยุกต์ใช้กับแบบจำลองสารสนเทศเมือง ที่ไม่ได้ถูกพัฒนาตามหลักพัฒนา BIM โดยไม่ได้ระบุข้อมูลจำเป็นบางอย่าง เช่น ID Code, Level, Family & Part, พื้นที่, ข้อมูลห้อง หรืออื่น ๆ ปรากฏว่า เกิดความสับสนในผลลัพธ์ที่ออกมา (ไม่สามารถแยกได้ว่าผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นของอาคารใด ห้องใด ชั้นใด) และบางครั้งเกิดความผิดพลาด ไม่สามารถประมวลผลได้

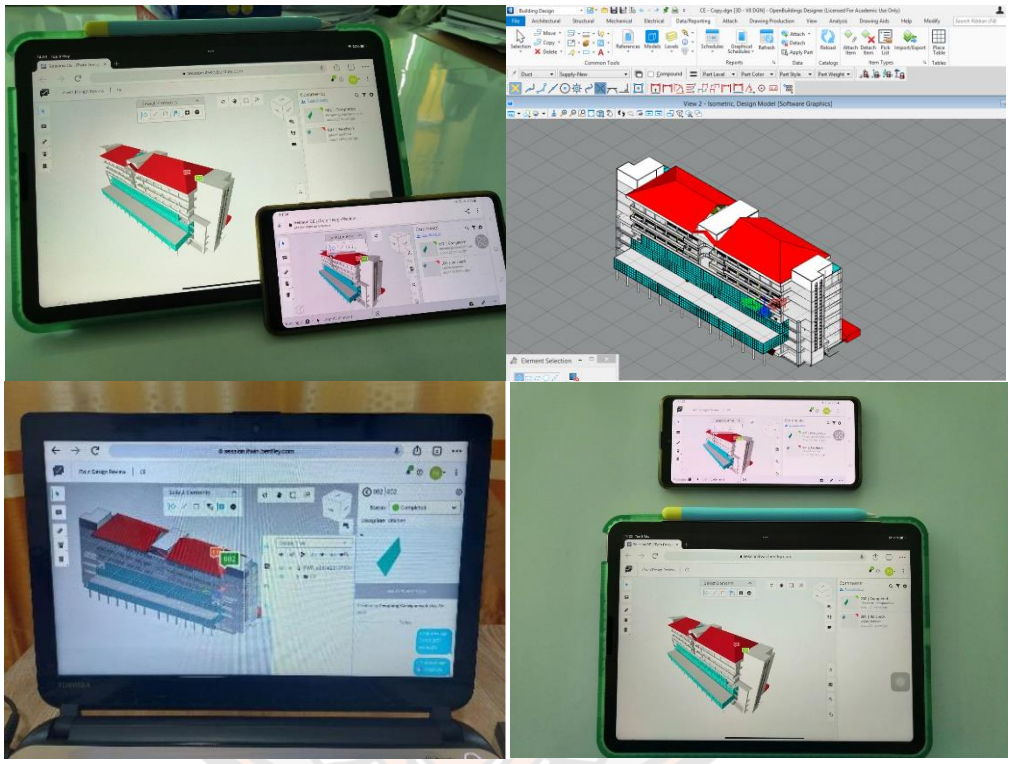
2. ทำงานร่วมกันแบบออนไลน์

ทดลองระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง กับการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ ทั้งความเป็นอัตโนมัติของข้อมูล และการทำงานร่วมกันของผู้เกี่ยวข้องผ่าน Project Wise 365 ภายใต้พื้นที่ Bentley Sever ที่อนุญาตให้มหาวิทยาลัยนเรศวรใช้ โดยอัพโหลดแบบจำลองสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นไปยังระบบคลาวด์โดยผู้ดูแล (Admin) และอนุญาตให้ผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีบัญชีเข้าถึง (หากไม่มีบัญชีต้องสมัครก่อน และการอนุญาตกระทำโดยผู้ดูแลเท่านั้น) จากนั้นให้ทดลองใช้แบบจำลองฯออนไลน์ โดยหาปริมาณงาน พื้นที่ กรณีปรับปรุงสภาพห้อง CE605 (เช่นเดียวกับข้างต้น)

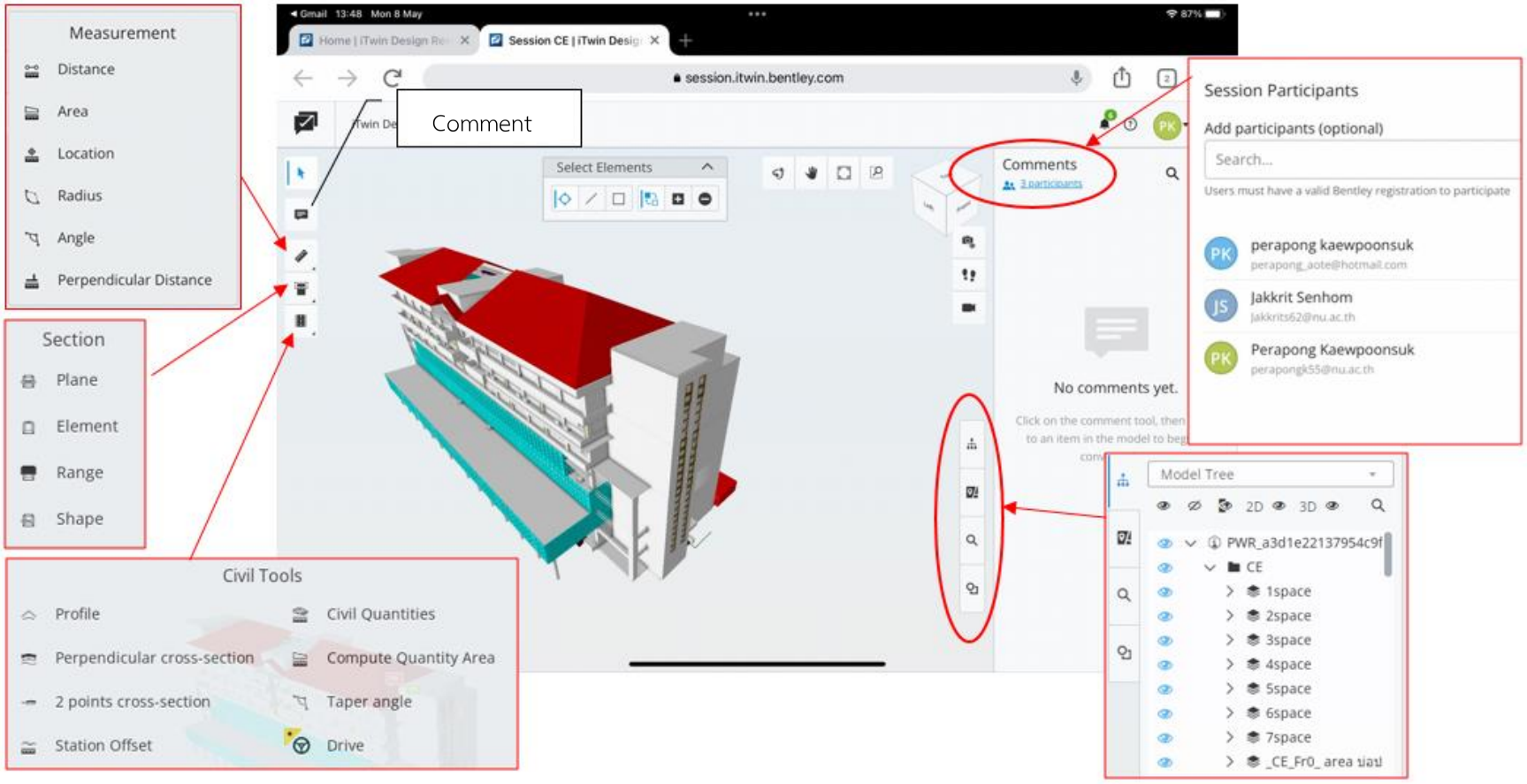
ปรากฏว่า การใช้งานแบบจำลองฯออนไลน์ สามารถใช้ทำงาน และติดต่อสื่อสารระหว่างทีมงานได้ โดยมีเครื่องมือพื้นฐานให้ใช้ครบถ้วน (ภาพ 57) เช่น การหาพื้นที่ ปริมาณวัสดุ การวัดระยะ การแสดงผลหน้างาน เพื่อตรวจรับงาน หรือเปรียบเทียบกับการทำงานจริง การบันทึกรายงานประจำวัน การแสดง Level เปิด ปิด การบันทึกแก้ไขชิ้นส่วนแบบจำลอง และอื่น ๆ

และในการนี้ ได้ทดลองจำลองสถานการณ์การทำงาน (ตรวจรับงาน) ระหว่างผู้ปฏิบัติงานหน้างาน กับสำนักงาน ในรูปแบบออนไลน์ ที่แสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ (ตั้งโต๊ะ และ

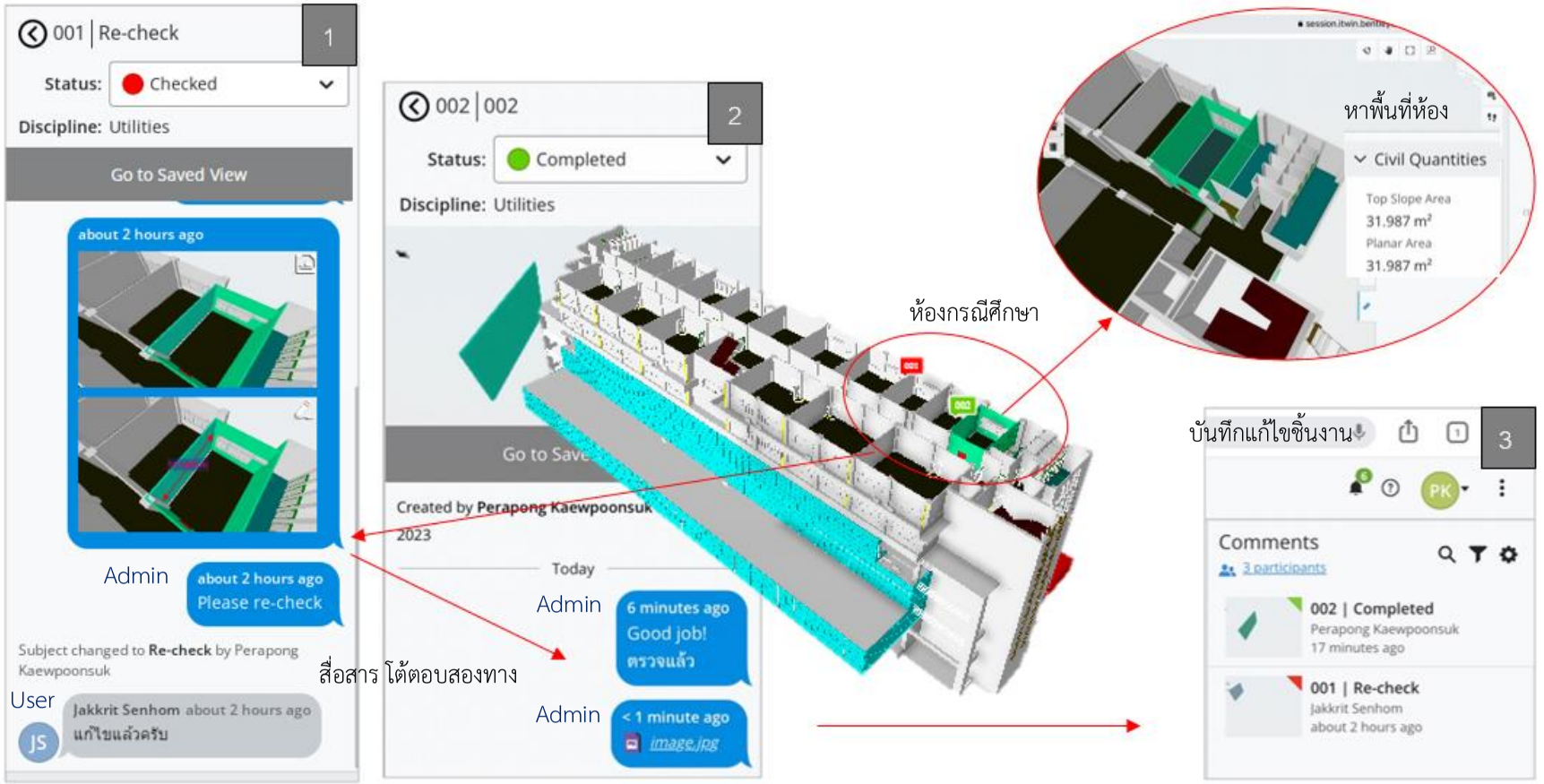
พกพา) สมาร์ตโฟน และแท็บเล็ตได้ (ภาพ 56) โดยทดลองสั่งงาน หาพื้นที่ ปรากฏว่า ใช้หาปริมาณงาน และพื้นที่ปรับปรุงได้ ซึ่งผลลัพธ์เป็นค่าเดียวกับแบบจำลองสารสนเทศหลัก (Core Model) อีกทั้ง ยังสามารถบันทึกแก้ไขชิ้นส่วนแบบจำลอง รวมถึงข้อเสนอแนะ ระบุข้อผิดพลาดที่พบ พร้อมแนบภาพถ่ายหน้างานจริงลงบนชิ้นส่วนแบบจำลอง เพื่อส่งกลับให้ผู้ดูแลส่วนกลางตรวจสอบ แก้ไข และปรับปรุงแบบจำลองต่อไปได้ (ภาพ 58) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการใช้งานออนไลน์ ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของอุปกรณ์ และคุณภาพสัญญาณอินเตอร์เน็ตด้วย



ภาพ 56 ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองบนคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน และแท็บเล็ต



ภาพ 57 หน้าต่างการทำงานแบบออนไลน์



ภาพ 58 ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมือง แบบออนไลน์

3. ติดตามงานก่อสร้าง

ทดลองติดตามงานก่อสร้างอาคารโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยนเรศวร (ปฐมวัยและประถมศึกษา) ระยะที่ 2 ด้วยระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง โดยการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารสี่มิติ จากแผนงานเดิมตามสัญญา เปรียบเทียบกับแบบจำลองเสมือนจริง (ภาพ 59) จากการเก็บข้อมูลสำรวจภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวนห้าจุด ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และบูรณาการลงแบบจำลองสารสนเทศเมือง จัดเก็บแบบเป็นลำดับชั้นข้อมูลตามระยะเวลาสำรวจ (ทุก ๆ สองสัปดาห์ เริ่มสัปดาห์ที่ยี่สิบสองของแผนงานตามสัญญา)

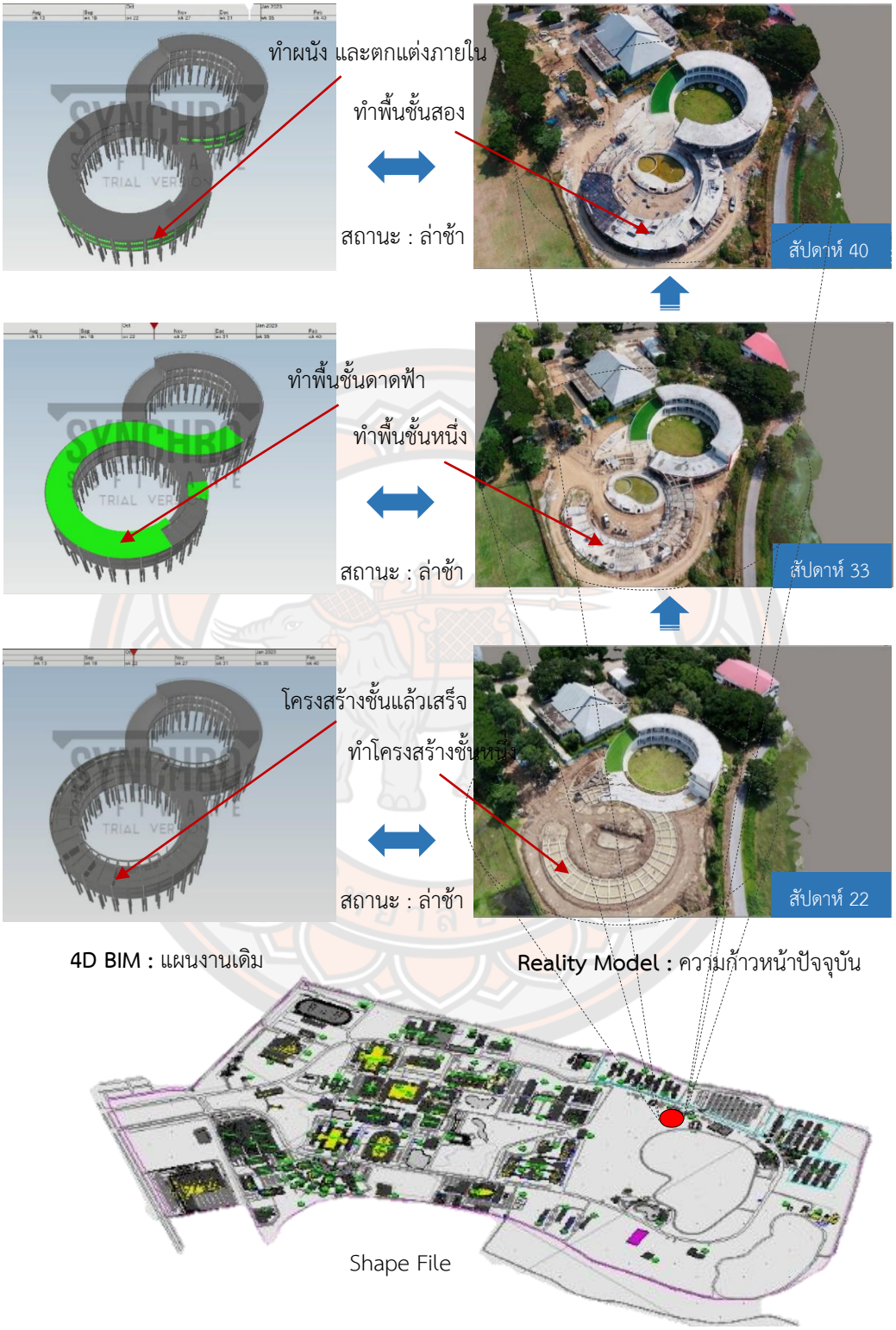
ปรากฏว่า ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองดังกล่าว สามารถใช้ติดตามงานก่อสร้าง และเปรียบเทียบกับแบบจำลองสารสนเทศอาคารสี่มิติได้ โดยเฉพาะการติดตามงานก่อสร้างภายนอกแบบภาพรวม พบว่า โครงการก่อสร้างดังกล่าวมีความล่าช้าประมาณร้อยละ 43.8 ในสัปดาห์สุดท้ายของสัญญาก่อสร้าง ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะส่งมอบงานไม่ทันตามกำหนดสัญญาเดิม

อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิควิธีนี้ ยังมีข้อควรระวังที่พบบางประการ คือ

1) วิธีการดังกล่าว ใช้ได้ผลดีกับการติดตามงานก่อสร้างภายนอก แบบภาพรวม โดยเฉพาะงานขนาดใหญ่ งานที่มีพื้นที่กว้าง หรือยาว เช่น ถนน สะพาน ที่อากาศยานไร้คนขับสามารถบันทึกภาพได้ แต่สำหรับภายในอาคาร เช่น งานท่อ งานระบบ หรืออื่น ๆ ยังมีข้อจำกัดบางประการ ทำให้ยุ่งยากในการสำรวจ และประมวลผลเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

2) แสง และเงา ที่เป็นอุปสรรค กล่าวคือ การใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บสำรวจข้อมูลในเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจเกิดเงาจากตัวอาคาร หรือสิ่งที่อยู่บริเวณรอบข้างได้ ทำให้การประมวลผลอาจเกิดความผิดพลาด ดังนั้น ควรเลือกสำรวจในเวลาที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

3) การพัฒนาแบบจำลองสี่มิติ ควรพัฒนาให้สอดคล้องกับแผนการทำงาน เพื่อลดปัญหาความยุ่งยากในการกำหนดกิจกรรม (ระหว่างแผนงานกับชิ้นส่วนแบบจำลอง) โดยการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และการวางแผนงาน ควรยึดหลักปฏิบัติ Work Breakdown Structure (WBS) ให้มากที่สุด



ภาพ 59 ติดตามโครงการก่อสร้างฯ ด้วยระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง

4. จัดการทรัพยากรกายภาพ

ผลทดลองใช้จัดการทรัพยากรกายภาพ ได้แก่ จัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหายและการซ่อมบำรุงถนน จากแบบจำลองเสมือนจริง และทดสอบความเป็นอัตโนมัติข้อมูล โดยการค้นหาวัตถุใต้ดิน (ท่อระบายน้ำ) จากระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

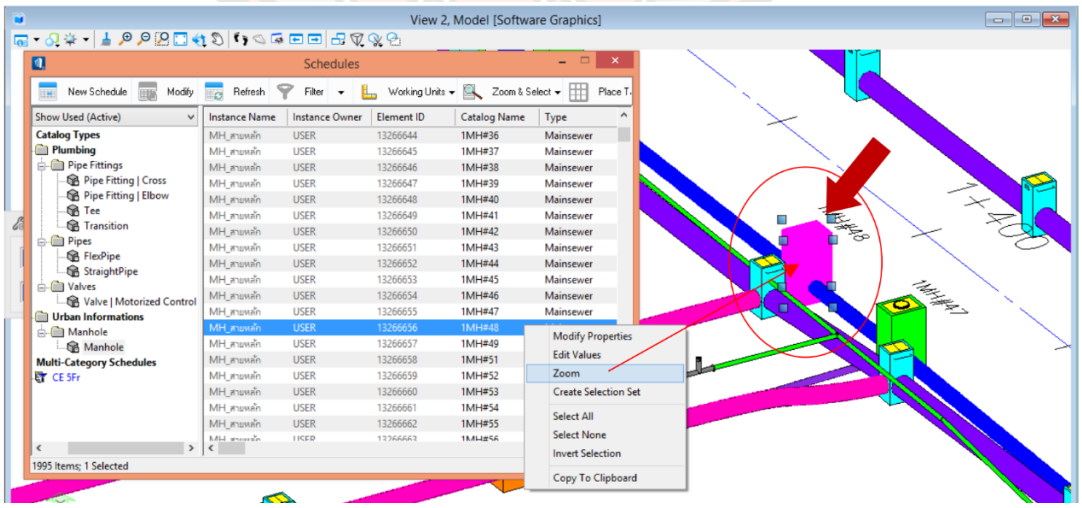
4.1) ทดลองผลลัพธ์การพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง จัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหาย และการซ่อมบำรุงถนน ตามแบบประเมินของกรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท พัฒนา Schedule ขึ้นใหม่ (กล่าวในวิธีการพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลอง) เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะข้อมูล เพื่อระบุลักษณะความเสียหาย และรายละเอียดอื่น ๆ จากนั้นทดลองจัดเก็บข้อมูลการประเมิน (ภาพ 60) เป็นลำดับชั้น ตามรอบการสำรวจ (แสดงผลเป็น Layer) ลักษณะคล้ายการประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงเพื่อติดตามงานก่อสร้าง ผลจัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหายและการซ่อมบำรุงถนน ในแบบจำลองสารสนเทศเมือง (ภาคผนวก ง)

ภาพ 60 พัฒนาฐานข้อมูลประเมินความเสียหาย และการซ่อมบำรุงถนน

จากผลการทดลองใช้แบบจำลองเสมือนจริง จัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหายและการซ่อมบำรุงถนน ปรากฏว่า ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่เสนอ ใช้จัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหาย และการซ่อมบำรุงถนนได้ (ภาพ 60 และภาคผนวก ง) ทั้งนี้ มีข้อสังเกต และแนะนำ คือ ต้องพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริงใหม่ในทุก ๆ ครั้งที่จัดทำฐานข้อมูล ไม่แนะนำให้ใช้แบบจำลองเสมือนจริงเดิม (รอบสำรวจก่อนหน้า) แล้วนำมาพัฒนาเฉพาะข้อมูลแบบไม่กราฟิก เพราะมิเช่นนั้นแล้ว ผู้นำข้อมูลไปใช้ต่อ จะไม่สามารถเห็นข้อมูลสภาพถนนจริงที่เป็นในปัจจุบันแบบกราฟิกได้ (ข้อมูลเก่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ) ดังนั้น ควรพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริงใหม่ทุกครั้งที่จัดทำฐานข้อมูลระดับความเสียหาย ทำให้เกิดความยุ่งยาก และต้องใช้ทรัพยากรเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริงในทุก ๆ รอบการจัดทำฐานข้อมูลจะทำให้มีชุดข้อมูลหลายชุดสามารถนำมาเปรียบเทียบความเสียหาย หรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ ซึ่งนำไปสู่การวางแผนแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบได้ดีขึ้น

4.2) ทดสอบความเป็นอัตโนมัติของข้อมูล โดยทดลองค้นหาบ่อพักน้ำเสีย และท่อระบายน้ำ จากระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น ปรากฏว่า แบบจำลองสารสนเทศเมือง และการเชื่อมโยงฐานข้อมูล ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ มีความอัตโนมัติเชิงโต้ตอบทันที (Interactive) กล่าวคือ เมื่อเลือกคลิกที่ข้อมูลไม่กราฟิก แบบจำลองจะแสดงผลไปยังวัตถุนั้นทันที (ภาพ 61) ในขณะเดียวกันเมื่อเลือกคลิกที่วัตถุ ก็ปรากฏข้อมูลแบบไม่กราฟิกขึ้นมาด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถเข้าดูข้อมูลเชิงลึกของวัตถุนั้น ๆ ได้

สำหรับฐานข้อมูลปฐมภูมิทั้งหมดของงานวัตถุใต้ดิน (งานท่อ บ่อพักน้ำเสีย และระบบบำบัดน้ำเสีย) ดังภาคผนวก ข



ภาพ 61 ทดสอบความอัตโนมัติเชิงโต้ตอบ ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก

ทั้งนี้ ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง มีความสะดวก ใช้สนับสนุนสำหรับงานที่มีข้อมูลจำนวนมาก ช่วยประหยัดเวลาค้นหาวัตถุ ตรวจสอบข้อมูล อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ต้องจัดทำอย่างเป็นระบบ และมีระเบียบแบบแผน เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถใช้ร่วมกันกับผู้อื่นได้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 ทั่วไป

บทนี้กล่าวถึง บทสรุปทั้งหมดของระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทั้งด้านกรอบแนวคิด เทคนิค และการนำไปใช้ รวมถึงข้อควรระวัง และข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากการขยายกรอบแนวความคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สู่ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ ดังนี้

5.2 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เสนอระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับการจัดการทรัพยากรกายภาพ ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา ขยายแนวคิดจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทั้งข้อมูลกราฟฟิก และไม่กราฟฟิก บูรณาการแบบจำลองทั้งสิ่งปลูกสร้างใหม่ และสิ่งปลูกสร้างเก่า โดยมีแนวคิดมุ่งเน้นให้เป็นแบบจำลองอัจฉริยะ (Intelligent Model) ใช้พื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นกรณีศึกษาพัฒนา ภายใต้สมมติฐาน “พื้นที่มหาวิทยาลัย คือ พื้นที่เมืองหนึ่งเมือง” ตามองคาพยพและข้อมูลที่พื้นที่กรณีศึกษามี และสืบค้นได้ ผลการวิจัยปรากฏว่า ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่นำเสนอ สามารถพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อใช้ในงานวิศวกรรมโยธา และการจัดการทรัพยากรกายภาพได้ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศ

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง ทั้งงานอาคาร และงานโครงสร้างพื้นฐาน ตามระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่เสนอ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองประเภทต่าง ๆ สรุปเชิงเทคนิคได้ ดังนี้

1.1) แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (นามสกุล .dgn) จัดเป็นแบบจำลองอัจฉริยะเหมาะกับสิ่งปลูกสร้างที่มีข้อมูลเพียงพอพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้ ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สะพาน อุโมงค์ ประปา น้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย หรืออื่น ๆ ระดับพัฒนาใช้ระดับก่อสร้าง (LOD 350) ขึ้นไป ถึงระดับ As Built Drawing (LOD 500) การพัฒนาแบบจำลองต้องพัฒนาตามทฤษฎี BIM อย่างมีระเบียบแบบแผน ควรใช้ชนิดแพลตฟอร์ม รุ่น เทมเพลต และฐานข้อมูลซอฟต์แวร์ที่ตรงกัน (กรณีใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่อง) หากไม่ได้ใช้เครื่องมือสร้างวัตถุสำเร็จรูปจาก

ฐานข้อมูลซอฟต์แวร์ ควรใช้ชิ้นส่วนประเภท Form พัฒนาวัตถุ (Object) เนื่องจากชิ้นส่วนประเภทนี้มีความอัจฉริยะมากกว่าประเภท Solid ที่ไม่สามารถหาพื้นผิว และระบุข้อมูลบางอย่างลงไปในวัตถุได้

ด้านข้อมูล นอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิ (ที่ไม่กราฟิก) ที่ติดมากับชิ้นส่วนแบบจำลอง (จากฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์) ต้องกำหนดข้อมูลที่จำเป็นบางอย่างลงในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุให้ครบ เช่น ID Code, Level, Family & Part, พื้นที่, ข้อมูลห้อง หรืออื่น ๆ ตามการใช้งาน การกำหนดข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก ใช้ได้กับข้อมูลทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ (.pdf), Spreadsheet (.xlsx), Microsoft Access, .docx, 2D CAD (.dgn, .dxf, .dwg), .jpg, .png, .tiff หรืออื่น ๆ โดยข้อมูลที่เชื่อมโยงต้องจัดเป็นหมวดหมู่ (Folder และ Sub Folder) อย่างมีระเบียบแบบแผน เพื่อความสะดวกในการใช้งานร่วมกัน

1.2) แบบจำลองบล็อก (นามสกุล .dgn) จัดเป็นแบบจำลองอัจฉริยะ เหมาะกับสิ่งปลูกสร้างที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้ เหมาะสำหรับแบบจำลองที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากนัก ระดับพัฒนาต่ำกว่า 350 แบบจำลองประเภทนี้เน้นขนาด มิติ รูปทรงภายนอกอาคาร ส่วนใหญ่ใช้ในพื้นที่ระดับเมือง (ประหยัดทรัพยากรคอมพิวเตอร์มากกว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคาร)

การพัฒนาควรใช้ชนิดแพลตฟอร์ม รุ่น เทมเพลต และฐานข้อมูลซอฟต์แวร์ที่ตรงกัน (กรณีใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่อง และรองรับการปรับปรุงเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคาร) ควรใช้ชิ้นส่วนประเภท Form พัฒนาแบบจำลอง (เหตุผลเดียวกับการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร)

ด้านข้อมูล นอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิ (ที่ไม่กราฟิก) ที่ติดมากับชิ้นส่วนแบบจำลอง (จากฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์) ต้องกำหนดข้อมูลที่จำเป็นบางอย่างลงในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุให้ครบ เช่น ID Code, Level, Family & Part, พื้นที่, ข้อมูลห้อง หรืออื่น ๆ ตามการใช้งาน การกำหนดข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก ใช้ได้กับข้อมูลทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ (.pdf), Spreadsheet (.xlsx), Microsoft Access, .docx, 2D CAD (.dgn, .dxf, .dwg), .jpg, .png, .tiff หรืออื่น ๆ โดยข้อมูลที่เชื่อมโยงต้องจัดเป็นหมวดหมู่ (Folder และ Sub Folder) อย่างมีระเบียบแบบแผน ลักษณะเดียวกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

1.3) รูปแบบมาตรฐาน IFC (นามสกุล .ifc) จัดเป็นแบบจำลองอัจฉริยะ พัฒนาจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร เน้นขนาด มิติ รูปทรง เหมาะสำหรับวัตถุเมือง หรือสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะ เช่น ไฟสัญญาณจราจร, ไฟส่องสว่างทาง, เครื่องกั้นแบ่งช่องทางจราจร, เสาไฟฟ้า, ป้ายจราจร, แผ่นทางเดินสำหรับผู้พิการทางสายตา, ถังขยะ, หัวจ่ายน้ำดับเพลิง, ไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และอื่น ๆ ที่เป็นลักษณะมาตรฐาน พัฒนาครั้งเดียวสามารถใช้ได้หลายครั้ง มีความเป็นกลางทางแพลตฟอร์ม (ใช้งานข้ามแพลตฟอร์มได้) อย่างไรก็ตาม กระบวนการส่งต่อข้อมูลข้ามแพลตฟอร์มของ

รูปแบบมาตรฐาน IFC ยังไม่สมบูรณ์เท่าไรนัก (ข้อมูลมาไม่ครบ มักเกิดความเสียหาย หรือแสดงผลผิดเพี้ยน) ซึ่งต้องพัฒนาต่อไป สำหรับข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก เช่นเดียวกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และแบบจำลองบล็อก

1.4) แบบจำลองเสมือนจริง (นามสกุล .3mx) และแบบจำลองเมฆจุดสามมิติ (นามสกุล .pod) พัฒนาจากภาพถ่ายบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เหมาะสำหรับงานอาคาร (ที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอจะพัฒนาเป็นแบบจำลองประเภทอื่น ๆ ได้), งานระดับเมือง, งานถนน, งานภูมิประเทศ, หรืองานที่มีขนาดใหญ่ เป็นต้น สำหรับการพัฒนาแบบจำลองประเภทนี้ ต้องวางแผนการบินสำรวจให้เหมาะสมกับพื้นที่ และต้องใช้ร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) เสมอ เพื่อความแม่นยำของพิกัด

การใช้เทคนิคนี้พัฒนาแบบจำลองเสมือนจริง มีข้อควรระวัง เช่น การบินสำรวจในพื้นที่จำกัด, การสำรวจภายในอาคารที่ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก หากเทียบกับการสำรวจด้วยเทคโนโลยีอื่น เช่น 3D Laser Scanner และ LiDAR เป็นต้น, แสง และเงา ที่เป็นอุปสรรค กล่าวคือ การใช้อากาศยานไร้คนขับเก็บสำรวจข้อมูลในเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจเกิดเงาจากตัวอาคาร หรือสิ่งที่อยู่บริเวณรอบข้าง มาบดบังเป้าหมายที่ต้องการเก็บข้อมูล ส่งผลให้การประมวลผลเกิดความผิดพลาดได้

การบินสำรวจสายทาง หรือถนน เพื่อประเมินความเสียหาย หรือการซ่อมบำรุง อาจต้องปิดการจราจรขณะบินสำรวจ เนื่องจากการสำรวจโดยอากาศยานไร้คนขับเป็นการเก็บภาพมุมสูง หากมีการสัญจรของรถขณะบินสำรวจ จะทำให้บดบังผิวจราจร (ไม่เห็นสภาพผิวทาง เช่นเดียวกับปัญหาแสง และเงา) ภาพถ่ายที่ได้อาจติดรถเหล่านั้นมาด้วย ส่งผลให้การประมวลผลในซอฟต์แวร์ผิดพลาด หรือไม่สมบูรณ์

ข้อมูลปฐมภูมิกราฟิก เช่น ขนาด รูปทรง มิติของอาคาร หรืออื่น ๆ วัดได้จากแบบจำลอง ส่วนข้อมูลแบบไม่กราฟิก ยังไม่สามารถบรรจุลงในชิ้นส่วนแบบจำลอง หรือเปลี่ยนแบบจำลองเป็นแบบจำลองอัจฉริยะได้โดยอัตโนมัติ (Chuck Eastman 2018) ทำให้ต้องใช้วิธีเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก ลักษณะเดียวกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

1.5) ข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ Raster (นามสกุล .jpg, .png, .tiff, etc.) แบบจำลองภูมิศาสตร์สามมิติ (นามสกุล .tiff และ .dgn) และ Computer Aided Or Drawing / Drafting Design (CAD) สองมิติ (นามสกุล .dgn, .dxf, .dwg และ .shp) รวมถึงข้อมูลแผนที่ฐานจากผู้ให้บริการ เช่น Google Maps, Bing Maps ทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลกราฟิกสองมิติ มีข้อมูลไม่กราฟิกอยู่ในรูปตารางแอตทริบิวต์ ส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นแผนที่ฐาน (Base Maps) ประกอบการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง นิยมใช้แสดงแนวเขตที่ดิน โฉนด สภาพภูมิประเทศ ฯลฯ สำหรับการกำหนดข้อมูลทุติยภูมิ ใช้วิธีเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอก ลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองประเภทอื่น ๆ

การบูรณาการร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศเมือง ต้องคำนึงถึงพิกัด สัดส่วนของข้อมูลให้ถูกต้อง มิเช่นนั้นแล้ว ผลการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองจะเกิดความผิดพลาด เนื่องจากข้อมูลสองมิติเหล่านี้นิยมใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง โดยเฉพาะพิกัด เช่น แนวเขตที่ดิน ขอบเขตโฉนด ซึ่งมีผลทางกฎมาย (กรรมสิทธิ์) อาจนำไปสู่ข้อพิพาทได้

2. ข้อมูลบนแบบจำลองสารสนเทศ

กรณีใช้ในหน่วยงาน (สถานะเป็นเจ้าของอาคาร เจ้าของเมือง หรือผู้ดูแลเมือง) ควรพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง ระดับก่อสร้าง ถึงระดับ As Built Drawing ทั้งหมด ข้อมูลกราฟิกที่ควรแสดง ได้แก่ งานโครงสร้าง สถาปัตยกรรม งานระบบ งานประปา และสุขาภิบาล รวมถึงแนวเขตที่ดิน หรือโฉนด ข้อมูลไม่กราฟิกที่ควรปรากฏ ได้แก่ 1) รหัส หรือชื่อแบบจำลอง, 2) รายละเอียดอาคาร เช่น ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร จำนวนชั้น จำนวนห้อง มิติภายนอกอาคาร, 3) ประเภทองค์กร กิจการอาคาร เจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ, 4) วันเดือนปีที่ก่อสร้าง, 5) เอกสารการดำเนินงานทางกฎหมาย เช่น แบบแปลนขออนุญาต ฯลฯ, 6) สถานภาพใช้งาน ประวัติการซ่อมบำรุง รื้อถอน ติดตั้ง ข้อมูลการใช้พลังงาน ฯลฯ และ 7) ข้อมูลอื่น ๆ ตามภารกิจ

กรณีจำเป็นต้องใช้จากหน่วยงานอื่น ต้องการข้อมูลกราฟิกระดับแบบจำลองบล็อก ระดับพัฒนา 200 ถึง 300 หากเป็นแบบจำลองสารสนเทศที่ข้อมูลกราฟิกสูงกว่านี้ จะทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรคอมพิวเตอร์เกินความจำเป็น และเกิดความสับสนข้อมูลที่แนบมาด้วยได้ อีกทั้ง หากเป็นข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับหน่วยงาน หรือภารกิจ การมีข้อมูลมากเกินไปอาจเกินความจำเป็น อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีข้อมูลไม่กราฟิกติดมากับแบบจำลองด้วย ได้แก่ ชื่อ, มิติอาคาร, เจ้าของ หรือผู้ดูแล หรือหน่วยงานรับผิดชอบ, พิกัด (โดยเฉพาะแนวเขตที่ดิน และโฉนด) ซึ่งเป็นข้อมูลปฐมภูมิทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาฐานข้อมูลดังกล่าว เป็นเพียงการวางกรอบแนวคิดกำหนดขอบเขตข้อมูลลงแบบจำลองสารสนเทศเมือง เพื่อเป็นต้นแบบการพัฒนาเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การกำหนดขอบเขตข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศเมือง ควรเป็นไปตามการใช้งาน และวัตถุประสงค์การพัฒนาขององค์กรนั้น ๆ ซึ่งมีความต้องการ และบริบทที่แตกต่างกัน

3. การบูรณาการแบบจำลองสารสนเทศ และประยุกต์ใช้งานกรณีศึกษา

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หรือกองอาคารและสถานที่ ในฐานะเจ้าของเมือง (Local Administration Officer) แบบจำลองสารสนเทศเมือง (กรณีสิ่งปลูกสร้างใหม่) ดังกล่าวได้มาจากผู้ก่อสร้าง (โครงการที่ดำเนินงานก่อสร้างเอง) เนื่องจากในปัจจุบัน การกำหนดสัญญาก่อสร้าง ระหว่างเจ้าของงาน และผู้รับจ้าง (ทั้งงานเอกชน และงานราชการ) มักระบุความต้องการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือแบบจำลองโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ที่กำหนดให้ส่งมอบแบบจำลอง พร้อมการส่งมอบงาน หรือปิดโครงการ แต่หากเป็นโครงการที่ดำเนินการก่อสร้างด้วยหน่วยงานอื่น การได้มาซึ่งแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ได้จากขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้าง ที่

กำหนดให้ ผู้ใดจะก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน ถอนอาคาร ต้องยื่นเอกสาร แผนผังบริเวณ แบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณ

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง สำหรับสิ่งปลูกสร้างเก่า สามารถพัฒนาแบบจำลองบล็อก และแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้จากแบบแปลนที่เคยอนุญาตให้ก่อสร้าง และจัดเก็บ ควบคู่กับการพัฒนา Reality Model ที่ได้จากเทคนิคการสำรวจต่าง ๆ (ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง) โดยร่วมกับแบบจำลองประเภทอื่น เช่น 2D CAD, IFC, แบบจำลองทางภูมิประเทศ (Terrain Model) และข้อมูลไฟล์สแกนแผนที่ต่าง ๆ นำไปสู่การแสดงผล (ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก) และสนับสนุนงานวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้างต่อไป

การได้มาของแบบจำลอง โดยเฉพาะการพัฒนาเอง หรือการให้ผู้รับจ้างพัฒนาให้ควรกำหนดให้เป็นแพลตฟอร์มเดียวกันตามแนวทางปฏิบัติการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศขององค์กร แต่หากเป็นไปได้ยาก ควรพัฒนาให้มีความเป็นกลางมากที่สุด เพื่อส่งต่อให้ผู้ดูแลแบบจำลองบูรณาการลงแพลตฟอร์มหลักที่องค์กรใช้ กรณีนำไปใช้หลายฝ่าย (ในองค์กรเดียวกัน) ควรใช้แพลตฟอร์มชนิด และรุ่นเดียวกัน ติดตั้งฐานข้อมูลเหมือนกัน และจำเป็นต้องมีผู้ดูแลส่วนกลาง (กรณีแต่ละฝ่ายมีการแก้ไข ผู้ดูแลแบบจำลองส่วนกลางมีหน้าที่ตรวจสอบ อนุญาต หรือไม่อนุญาต) เพื่อป้องกันการซ้ำซ้อนของข้อมูลที่อาจทำให้แบบจำลองหลักเสียหาย

สำหรับการนำแบบจำลองสารสนเทศเมืองไปใช้หน้างานก่อสร้าง เช่น ตรวจรับงาน ติดตามงาน ควบคุมคุณภาพงาน สามารถใช้งานออนไลน์ผ่านคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน หรือแท็บเล็ตได้ รวมถึงกรณีตรวจพบความผิดพลาดของแบบจำลอง กับสภาพหน้างานจริงที่ไม่ตรงกัน สามารถบันทึกแก้ไขชิ้นส่วนแบบจำลองผ่านระบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้ดูแลพิจารณาตรวจสอบ และส่งเรื่องไปยังผู้เกี่ยวข้องได้

4. บทสรุปจากกรณีศึกษา

การพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองตามระเบียบวิธีที่นำเสนอ ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยต่าง ๆ ตามองค์ประกอบเมือง เช่น อาคาร โครงสร้างพื้นฐาน และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ซึ่งต้องพัฒนาอย่างมีระเบียบแบบแผน ตามแนวปฏิบัติ (UIM Execution Plan) ครอบคลุมประเด็น ดังนี้

1. ทั่วไป เช่น แพลตฟอร์มที่ใช้ (ชนิด รุ่น เทมเพลต), คอมพิวเตอร์, ผู้ที่เกี่ยวข้อง, โครงสร้างการทำงาน, บทบาทหน้าที่ และความรับผิดชอบ, ข้อตกลงในการจัดทำแบบจำลอง, การตรวจรับแบบจำลอง, ภาพรวมเอกสารต่าง ๆ ที่ใช้, จุดอ้างอิง, หน่วย และมาตรวัด

2. แผนการดำเนินงาน เช่น ระยะเวลา, แผนการพัฒนาแบบจำลอง (ช่วงก่อนก่อสร้าง ก่อสร้าง และหลังก่อสร้าง), เป้าหมายพัฒนาแบบจำลอง, การประชุม, ความต้องการใช้ข้อมูล, มาตรฐานการทำงาน และวิธีการพัฒนา

3. การจัดการแบบจำลอง และข้อมูล เช่น การส่งต่อข้อมูล, กระบวนการส่งต่อข้อมูล, โครงสร้างแฟ้มข้อมูล, การจัดการประเภทไฟล์, การจัดการ Link แนบไฟล์, การบริหารจัดการเทมเพลต และ Workset, รายละเอียดที่ต้องมีในแบบจำลอง, องค์ประกอบที่ละได้ ละไม่ได้ในแบบจำลอง, แผนการใช้ข้อมูล, การบริหารจัดการฐานข้อมูล, ความปลอดภัยในการใช้ข้อมูลร่วมกัน, รูปแบบการจัดทำแบบก่อสร้าง (ลักษณะ ขนาด สี เส้น ฯลฯ) และแนวทางการตั้งชื่อ (ไฟล์, ID Code, Workset, Level, Family & Part ฯลฯ)

4. การควบคุมคุณภาพแบบจำลอง เช่น หลักการตรวจสอบ, ความถูกต้อง, การประสานข้อมูลแบบจำลอง, ความครบถ้วน, โครงสร้างการเชื่อมโยงฐานข้อมูลภายนอกต่าง ๆ รวมถึงความขัดแย้งของแบบจำลอง (รหัสสี, การจัดการ Clash, กฎการ Clash และการรายงานผล Clash)

5. กระบวนการจัดเก็บ และความปลอดภัย เช่น การตรวจสอบข้อมูลแบบจำลองกับหน้างานจริง การบันทึกลง Server หรือระบบ Cloud

สำหรับแนวปฏิบัติ (เบื้องต้น) ที่การวิจัยนี้ใช้ ดังนี้

1) ทั่วไป;

1.1) แพลตฟอร์มใช้ Bentley® Systems CONNECT Edition เทมเพลต Building Template_USM

1.2) คอมพิวเตอร์ คุณสมบัติเบื้องต้นที่แนะนำ; Intel Core I7-4770, Nvidia GeForce RTX 2060, Ram 32 Gb/1600 MHz, Windows 10 Professional 64 bit, Storage 500 Gb – SATA Drive ขึ้นไป

1.3) พิกัดโลก (Global coordinate) ใช้ EPSG : 32647 WGS84/UTM Zone 47N สำหรับพิกัดเฉพาะแห่ง (Local coordinate) ตามความเหมาะสมของแต่ละอาคาร โดยให้งานสถาปัตยกรรมเป็นผู้กำหนด และใช้เป็นจุดอ้างอิงให้ส่วนงานอื่น ๆ

1.4) หน่วยมาตรวัดใช้ระบบเมตริก

1.5) กำหนดโครงสร้างบริหารงาน บทบาทหน้าที่ ความรับผิดชอบ พร้อมข้อตกลงในการจัดทำแบบจำลอง การตรวจรับแบบจำลอง เอกสาร และข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ เช่น แบบแปลนพิมพ์เขียว ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

2) แผนการดำเนินงาน วัตถุประสงค์ และขอบเขต

2.1) พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมืองเพื่อการจัดการทรัพยากรกายภาพภายใต้งานวิศวกรรมโยธา ตามระเบียบวิธีแบบจำลองที่นำเสนอ ระดับก่อสร้าง ถึงระดับหลังก่อสร้าง (LOD 350 ถึง 500) ตามข้อมูลที่สืบค้นได้ พื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2) กำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง (Model Structure)

2.3) แบ่งโครงสร้างการทำงานตามประเภทงาน เช่น งานสถาปัตยกรรม งานโครงสร้าง งานสุขาภิบาล งานระบบ และอื่น ๆ โดยพัฒนาทีละอาคาร และมีผู้ดูแลส่วนกลาง (Admin) เป็นผู้ตรวจสอบ ประเมิน อนุมัติแต่เพียงผู้เดียว

2.4) รวบรวม ตรวจทานข้อมูล พร้อมตรวจสอบพื้นที่จริง ตามแต่ละส่วนงานที่ได้รับหมอบหมาย ทั้งก่อนลงมือพัฒนา และระหว่างพัฒนา

2.5) ทดลองผสานแบบจำลองย่อยต่าง ๆ บูรณาการเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง เป็นระยะตามความเหมาะสม (เพื่อตรวจสอบความเข้ากันได้)

3) การจัดการแบบจำลอง และส่งถ่ายข้อมูล

3.1) ชิ้นส่วนวัตถุแบบจำลองสำเร็จรูป ใช้ตาม Wokset Building Template_USM และหากจำเป็นต้องพัฒนาเอง ให้ใช้ประเภท Form พัฒนา (คำนวนหาพื้นที่ และปริมาตรได้) แต่หากจำเป็นอนุญาตให้ใช้ Solid ได้ แต่ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ดูแลก่อน

3.2) ข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ที่ควรระบุลงแบบจำลอง กำหนดดังตาราง 5 ตาราง 6 และตาราง 7 สำหรับรูปแบบการจัดทำแบบก่อสร้าง (ลักษณะ ขนาด สี เส้น ฯลฯ) ใช้ตามค่าเดิมของเทลมเพลต โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานการจัดเตรียมแบบสร้างจริงและคู่มือเจ้าของอาคาร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2553)

3.3) การตั้งชื่อ Lever หรือ Layer ให้เป็นไปตามแนวทางตามตาราง 5

3.4) บูรณาการแบบจำลองสารสนเทศเมือง ใช้วิธีอ้างอิงไฟล์ (Reference) และการย้ายเข้าจุดตามพิกัดจริง (ใช้ Global coordinate)

3.5) การตั้งชื่อไฟล์ (Naming Convertions) กำหนดตามตาราง 5 และบันทึกในรูปแบบนามสกุล .dgn ปลายทางตามโครงสร้างแฟ้มข้อมูลที่กำหนด

3.6) โครงสร้างแฟ้มข้อมูลที่กำหนด (Folder และ Sub Folder) สำหรับจัดเก็บแบบจำลองสารสนเทศเมือง ใช้ D:\Opencities NU Maps\NU Information\Sub Folder : ชื่ออาคาร

3.7) การส่งต่อข้อมูลต้องประกอบด้วย ไฟล์งานหลัก ไฟล์นำเข้า ไฟล์อ้างอิง และอื่น ๆ แหล่งจัดเก็บ D:\Opencities NU Maps\NU Information\ Sub Folder : ชื่ออาคาร พร้อมด้วยฐานข้อมูลแพลตฟอร์ม ชื่อแฟ้ม: Configuration (Directory จัดเก็บ : C:\ProgramData\Bentley\OpenBuildings CONNECT Edition\Configuration)

4) การควบคุมคุณภาพแบบจำลอง เน้นความถูกต้อง ครบถ้วน ทั้งข้อมูลกราฟิกและไม่กราฟิก ให้เป็นไปตามระดับพัฒนาที่กำหนด พร้อมตรวจสอบความขัดแย้งของข้อมูล (Clash Detection) และรายงานผล

5) กระบวนการจัดเก็บ หากตรวจสอบแล้วว่าถูกต้อง ครบองค์ประกอบตามวัตถุประสงค์การพัฒนา และตรงกับสภาพจริง ให้จัดเก็บบนคอมพิวเตอร์หลัก (กรณีใช้หลายเครื่อง) ตามเส้นทาง Directory ที่กำหนดเท่านั้น ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ และควรสำรองข้อมูลเพื่อความปลอดภัย โดยมี Admin เป็นผู้ดูแล

ทั้งนี้ แนวปฏิบัติที่ได้จากกรณีศึกษานี้ เป็นการสรุปประเด็นในภาพรวม เพื่อให้บูรณาการแบบจำลองสารสนเทศเมืองได้ อีกทั้ง ลักษณะการพัฒนาดังกล่าวไม่ได้ทำในรูปแบบองค์กร จึงไม่สามารถอธิบายรายละเอียดในบางส่วนได้ครบถ้วน ดังนั้น หากนำระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองนี้ไปใช้ ควรคำนึงถึงบริบท และรูปแบบการทำงานขององค์กรอีกครั้ง เพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด โดยอาจใช้มาตรฐานการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศ จากองค์กรวิชาชีพ เช่น มาตรฐานการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ตามแนวทางวิชาชีพ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ เป็นตัวกำหนดรูปแบบการทำงาน เพื่อความเป็นกลาง และให้แบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถบูรณาการร่วมกับเทคโนโลยีใหม่ เช่น ระบบ Sensor เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยการทำงานด้านวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง รองรับเมืองอัจฉริยะรูปแบบ Digital Twin ต่อไปในอนาคตได้อย่างแท้จริง

5. การประยุกต์ใช้ระดับเมืองด้านอื่น ๆ

นอกเหนือจากกรณีศึกษา ที่ใช้ระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมือง ด้านการจัดการทรัพยากรกายภาพ โครงสร้างพื้นฐาน ภายใต้งานวิศวกรรมโยธา ตลอดวงจรชีวิตอาคารตามองคาพยพเมืองแล้ว แบบจำลองสารสนเทศเมืองยังนำไปใช้กับอุตสาหกรรม AEC ระดับเมืองได้ เช่น การออกแบบอาคารภาวะน่าสบาย อาคารประหยัดพลังงาน ที่ต้องอาศัยการจำลองสถานการณ์แสงและเงา ของสิ่งปลูกสร้าง หรือต้นไม้บริเวณโดยรอบ, การจำลองสถานการณ์แรงลม (Wind Simulation) กรณีต้องการรู้แรงลมที่กระทำในพื้นที่จุดเสี่ยงนั้น ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้สนับสนุนการทำงานในมิติอื่น ๆ เช่น

ด้านจัดการ และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน; ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูลพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ระบบสาธารณูปโภค สาธารณูปการต่าง ๆ เช่น เขตแนวพัฒนาโครงการ รวมถึงการเวนคืนที่ดิน (สถานที่ที่โครงการผ่าน หน่วยงานที่ต้องประสานงาน การถือครองกรรมสิทธิ์ จำนวนพื้นที่ที่ต้องเวนคืน จำนวนเงินค่าทดแทนการเวนคืน ฯลฯ), การจัดการพลังงาน (ติดตาม หรือคาดการณ์การใช้พลังงานของเมือง กรณีต้องวางแผนการใช้พลัง หากเมืองขยาย รวมถึงการซ่อมบำรุง ฯลฯ), การจัดการจราจร และขนส่งสาธารณะ (ใช้จำลองสถานการณ์การเดินรถสาธารณะ กรณีเมืองขยาย ผังเมืองเปลี่ยน เพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ชีวิต และถิ่นที่อยู่

อาศัย) รวมถึงการจัดทำฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐาน (การใช้งาน การจำลองสถานการณ์ และการซ่อมบำรุง ฯลฯ) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นต้น

ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม; ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูลแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การจัดเก็บขยะ (ใช้จำลองสถานการณ์การเดินรถจัดเก็บขยะกรณีเมืองขยาย หรือผังเมืองเปลี่ยน เพื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ชีวิต และถิ่นที่อยู่อาศัย), การจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 (ใช้จำลองสถานการณ์วางแผนรับมือผลกระทบ หากเกิดจุด Hotspot ต่าง ๆ ในเมือง), การจัดการน้ำ (ใช้จำลองสถานการณ์การระบายน้ำของเมือง กรณีฝนตกหนัก รวมถึงการจัดการน้ำเสีย), จัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติ (เช่น ข้อมูลแหล่งน้ำ ประวัติการขุดลอก ฐานข้อมูลชั้นดิน ฯลฯ) เป็นต้น

ด้านบริหารจัดการเมือง; เช่น ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูล, กำหนดผังเมือง, ควบคุมการก่อสร้าง (ตรวจสอบ พิจารณา อนุญาตให้สร้าง หรือไม่ให้สร้าง), สนับสนุนกิจการเมือง เช่น หากมีผู้ขอใช้พื้นที่สาธารณะจัดงาน หรือจัดกิจกรรม การเชื่อมต่อระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน (ไฟฟ้า ประปา) ซึ่งสามารถค้นหาได้จากแบบจำลองสารสนเทศเมือง เป็นต้น

ด้านการป้องกันบรรเทาสาธารณะภัย; เช่น ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองช่วยค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเข้าพื้นที่ของรถฉุกเฉิน, ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองช่วยค้นหาหัวจ่ายน้ำดับเพลิง กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้, แสดงแบบแปลนอาคาร กรณีต้องเผชิญเหตุช่วยเหลือผู้ประสบภัย ไม่ว่าจะเป็นอุบัติภัย หรือภัยธรรมชาติ รวมถึงการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการใช้งานอาคาร การเชื่อมต่อสาธารณูปโภค สาธารณูปการที่จำเป็น กรณีต้องทำที่พักชั่วคราว หรือโรงพยาบาลสนาม หากเกิดภัยพิบัติ หรือโรคระบาด เป็นต้น

ด้านความมั่นคง; ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูลช่วยการวางแผนป้องกัน และปราบปราม เช่น สกัดจับคนร้าย หรือป้องปรามเหตุ (เส้นทางหลบหนี จุดอับสายตา สถานที่เปลี่ยว หรือสถานที่อันตราย อนาคตอาจใช้บูรณาการร่วมกับระบบ Sensor และ AI แสดงผล Real Time สำหรับติดตามคนร้าย หรือป้องปรามเหตุ), งานอารักขา เช่น วางแผนคุ้มกันบุคคลสำคัญ หรือสถานที่สำคัญ (แบบจำลองสารสนเทศเมือง มีข้อมูลเสมือนจริง ทำให้เอื้อต่อการนำไปใช้วางแผน หรือการวางกำลัง) ฯลฯ

ด้านภาษี; ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองจัดทำฐานข้อมูลภาษี เช่น ภาษีป้าย ภาษีโรงเรือนและที่ดิน ภาษีบำรุงท้องที่ (วัดขนาด และพื้นที่ของสิ่งปลูกสร้าง หรือป้ายได้จากแบบจำลอง) พร้อมทั้งบันทึกอัตราภาษี ประวัติการจัดเก็บ สถานะการจ่ายภาษี รวมถึงคำนวณรายได้จากการเก็บภาษี เป็นต้น

ด้านเศรษฐกิจ; เช่น ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูลพัฒนาธุรกิจการค้า การลงทุน (ภาคเอกชน) หรือสนับสนุนธุรกิจ (ภาครัฐบาล), สนับสนุนการท่องเที่ยว (เชื่อมโยงกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน)

ด้านการอนุรักษ์; ใช้แบบจำลองสารสนเทศเมืองเป็นฐานข้อมูลสำหรับอาคารอนุรักษ์ โบราณสถาน หรือสิ่งก่อสร้างที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ และวัฒนธรรม เพื่อติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลง จัดทำฐานข้อมูลทางวิศวกรรม นำไปสู่การบูรณะซ่อมแซมต่อไป เป็นต้น

ทั้งนี้ การใช้งานแบบจำลองสารสนเทศเมืองขึ้นอยู่กับข้อมูล ทั้งกราฟิก และไม่กราฟิก ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขต และวัตถุประสงค์การพัฒนา ดังนั้น หากต้องการให้แบบจำลองสารสนเทศเมืองสนับสนุนการทำงานในหลายภาคส่วน และมีประสิทธิผลสูงสุด การพัฒนาแบบจำลองจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือ และบูรณาการจากทุกภาคส่วน ทั้งด้านการกำหนดนโยบาย ขอบเขต วัตถุประสงค์ ข้อมูลตั้งต้น (ที่ใช้พัฒนา) ความต้องการใช้งาน รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบุคลากร เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากภาพรวมระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่เสนอ ทั้งด้านกรอบแนวคิด เทคนิคข้อมูล การใช้งาน รวมถึงการวิจัยในอนาคต มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศเมือง มีข้อมูลจำนวนมาก ตามองค์ประกอบของเมือง (ทั้งกราฟิก และไม่กราฟิก) ดังนั้น หากนำระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองดังกล่าวไปใช้ ควรมีแนวปฏิบัติ หรือรูปแบบการทำงานที่ชัดเจน ให้สอดคล้องกับบริบทขององค์กร ทั้งนี้ อาจใช้มาตรฐานการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศ จากองค์กรวิชาชีพ เช่น มาตรฐานการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ตามแนวทางวิชาชีพ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ เพื่อให้แบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น ใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิผล และลดปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการบูรณาการ และการนำไปใช้โดยเฉพาะในต่างหน่วยงาน

2. ในอนาคตการเข้าถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่อาจทำได้ง่ายขึ้น เช่น เปลี่ยนจากการใช้อากาศยานไร้คนขับในการบินสำรวจ มาเป็น 3D Laser Scanner หรือ LiDAR กระบวนการแบบจำลองบางอย่าง อาจมีเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ช่วยตัดสินใจ การทำงานบนคลาวด์อาจมีข้อจำกัดที่น้อยลง

3. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์) เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ดังนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับขอบเขตการพัฒนาแบบจำลอง และบริบทองค์กร

4. การจัดทำฐานข้อมูลขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ขอบเขต และการนำไปใช้ ของแต่ละการพัฒนา ซึ่งมีบริบทที่แตกต่างกัน การวิจัยนี้ เพียงวางแนวทาง และกรอบแนวคิดกำหนด

ขอบเขตข้อมูลลงแบบจำลองเท่านั้น (ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก) ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ดังนั้น หากผู้ที่นำระเบียบวิธีแบบจำลองสารสนเทศเมืองนี้ไปพัฒนาต่อ ควรพิจารณาถึงปัจจัยเหล่านี้ เพื่อให้แบบจำลองสารสนเทศเมืองที่พัฒนาขึ้น เกิดประโยชน์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management, 138*(3), 431-442. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433

Bentley Advancing Infrastructure. (2019). *The Year in Infrastructure 2019 Conference*. Marina Bay Sands, Singapore: Bentley Systems, Incorporated.

Bentley Advancing Infrastructure. (2020). Digital Cities Reality Modeling for Going Digital. Retrieved from https://www.bentley.com/wp-content/uploads/eBook-Reality-Modeling-Digital-Cities-EN.pdf

Bentley® Systems. (2017). The City of Helsinki leverages Bentley's reality modeling software to create 3D city model; Helsinki 3D+, a new generation of city models. from https://www.bentley.com/en/project-profiles/city-of-helsinki_helsinki-3d

Bentley® Systems. (2019). Cities Leverage Digital Twin Initiatives to Advance BIM and GIS Improving the Quality of Life for Their Constituents. from https://www.bentley.com/cs/about-us/news/2019/october/21/1026-ai-cities-advance-digitally-to-support-smart-city-initiatives

Bergin, M. S. (2012). A brief history of BIM. *Archdaily, 7*, 12.

BIMLERN. (2017). IFC. from https://bimlearn.org/wp-content/uploads/2017/12/IFC_discipline_and_merged_models.png

Blom, A. (2011). Blom3D™ Whitepaper for Blom partners, clients and developers *Technical report*.

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction, 114*, 103179. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179

Chapman, D., Providakis, S., & Rogers, C. (2020). BIM for the Underground – An enabler of trenchless construction. *Underground Space, 5*(4), 354-361. doi: https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.08.001

Cheng, J. C. P., Lu, Q., & Deng, Y. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automation in Construction, 67*, 31-47. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006

Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute; Chengdu Institute of Survey & Investigation. (2019, October 21 – 24). *Application of BIM+GIS in Municipal Reconstruction in Shanbanqiao Area of Chengdu.* Paper presented at the The Year in Infrastructure 2019 Conference, Marina Bay Sands, Singapore.

Chia, E. S. (2016). *Singapore's smart nation program — Enablers and challenges*.

Chuck Eastman, R. S., Ghang Lee, Paul Teicholz. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 3rd Edition* (3rd Edition ed. Vol. 3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Costin, A., & Eastman, C. (2019). Need for Interoperability to Enable Seamless Information Exchanges in Smart and Sustainable Urban Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering, 33*(3), 04019008. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000824

Daum, S., & Borrmann, A. (2014). Processing of Topological BIM Queries using Boundary Representation Based Methods. *Advanced Engineering Informatics, 28*(4), 272-286. doi: https://doi.org/10.1016/j.aei.2014.06.001

Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. (2018). *World Urbanization Prospects* Retrieved from https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf

Eastman, C. A. C. (1974). An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50. 23.

Fernández-Rodríguez, S., Cortés-Pérez, J. P., Muriel, P. P., Tormo-Molina, R., & Maya-Manzano, J. M. (2018). Environmental impact assessment of Pinaceae airborne pollen and green infrastructure using BIM. *Automation in Construction, 96*, 494-507. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.011

Ferrer., J.-R. (2017). Barcelona’s Smart City vision: an opportunity for transformation. *Field ACTions Science Reports.*(Special Issue 16; Smart Cities at the Crossroads.),

70-75.

Gillian Rose, M. B. C., Sophie Watson, Nick Bingham, Parvati Raghuram. (2017). Smart Cities in the Making: Learning from Milton Keynes. from https://gtr.ukri.org/projects?ref=ES%2FN014421%2F1&fbclid=IwAR0LCcBCoLTTKvpLOrEu7877QNX3b0T0k3J_KjNYGnmDag6WsN3orn9Xwc#/tabOverview

Grieves, M. (2015). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication.

Gupta, K., Yang, Z., & Jain Rishee, K. (2019). Urban Data Integration Using Proximity Relationship Learning for Design, Management, and Operations of Sustainable Urban Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering, 33*(2), 04018063. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000806

Haag, S., & Anderl, R. (2018). Digital twin – Proof of concept. *Manufacturing Letters, 15*, 64-66. doi: https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006

Hamil, S. (2021). What is Building Information Modelling (BIM)?

Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J.-L., Jayan, B., & Li, H. (2017). Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77*, 193-214. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107

Ir. Filip Biljecki. (2013). *The concept of level of detail in 3D city models.* (PhD Research Proposal), Delft University of Technology Jaffalaan 9, 2628 BX, Delft, The Netherlands. Tel.: +31 (0)15 278 4548; Fax +31 (0)15-278 2745. (GISt Report No. 62).

Islam Md, S., Chen, Y., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M. (2019). Rethinking Urban Open-Space Distribution for Municipal Financial Sustainability. *Journal of Computing in Civil Engineering, 33*(3), 04019012. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000818

Jain Rishee, K., & Abraham, D. (2019). Computational Approaches to Enable Smart and Sustainable Urban Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering, 33*(6), 02019001. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000850

Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J.-P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., Hyyppä, Juha., & Hyyppä, H. (2018). Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a Harmonized Interoperable System. *ISPRS International Journal of Geo-*

Information, 7(2). doi: 10.3390/ijgi7020055

LARKI. (2023). 3D Aerial Point Cloud. from https://larki.com.au/product/3d-aerial-point-cloud/

Marzouk, M., & Othman, A. (2020). Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society, 57*, 102120. doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120

Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2017, 27 Nov.-1 Dec. 2017). *Smart city digital twins.* Paper presented at the 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI).

Mora, L., & Bolici, R. (2017). How to Become a Smart City: Learning from Amsterdam (pp. 251-266).

NATCHEV, M. S. a. D. (2019, April 8-11, 2019). *Digitization of the Construction Industry. Engineering Organizations in Support of European Initiatives, BIM Standardization and Accelerating BIM Adoption.* Paper presented at the World Construction Forum 2019, Ljubljana, Slovenia.

National Research Foundation Prime Minister's Office Singapore. (2021). Virtual Singapore. from https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore

NBS National BIM Library. (2021). What is Building Information Modelling (BIM)? , from https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim

OpenCities Planner. (2019). OpenCities Planner: Spatial Database Integration. from https://www.youtube.com/watch?v=MS7VtEHP0yI

Peter Byrn. (2005). *3D City & Urban Modeling (Parametric 3D City Modeling).* Paper presented at the EuroSDR Workshop 21-22 June 2005, Bonn, Germany.

Programme, U. N. D. (2021). SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS. from https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html

Proverbio, M., Costa, A., & Smith Ian, F. C. (2018). Sensor Data Interpretation with Clustering for Interactive Asset-Management of Urban Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering, 32*(6), 04018050. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000793

Qi, Q., & Tao., F. (2018). Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and

Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access, 6*, 3585-3593. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2793265

Rafael Sacks, C. E., Ghang Lee, Paul Teicholz. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers (3rd Edition ed., Vol. 3rd Edition, pp. 14). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Rezgui., S. H. a. Y. (2018). *Beyond BIM: Knowledge management for a smarter built environment*: BRE Electronic Publications.

Schluse, M., Priggemeyer, M., Atorf, L., & Rossmann., J. (2018). Experimentable Digital Twins—Streamlining Simulation-Based Systems Engineering for Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14*(4), 1722-1731. doi: 10.1109/TII.2018.2804917

Shimonti Paul. (2018). BIM for Smart Cities – Why is it a necessity? , from https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-smart-cities/?fbclid=IwAR1o2u37EBeMiFU9RDblO3nad4Lbk-cHSncYUPGfhnSijJSyXdvFARCyrNY

SIRAKOVA, T. A. (2018). *Urban Planning: from GIS and BIM straight to CIM. Practical application in the urban area of Porto.* (Master Degree of Civil Engineering), University of Porto, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.

System, B. (2022). Products and services. from https://www.bentley.com/en/products

Technologies, O. (2019). BIM Level of Development. from https://www.olilo.ae/bim-lod-100-200-300-350-400-500.html

Tomko, M., & Winter, S. (2018). Beyond digital twins – A commentary. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 46*(2), 395-399. doi: 10.1177/2399808318816992

Van Nederveen, G. A., & Tolman, F. P. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction, 1*(3), 215-224. doi: https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-B

กรมทางหลวงชนบท. (2550a). คู่มือการประเมินคุณภาพทางหลวงท้องถิ่นด้วยหลักคุณภาพ *4S* โดยใช้สายตา Retrieved from https://drive.google.com/file/d/1YK13CsBuCi2o2QBgjQvew1-MJeufZ2Nw/view

กรมทางหลวงชนบท. (2550b). คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพทาง Retrieved from https://drive.google.com/file/d/19Oafz95u5kxsqVhaj__939IGsuRKAi8e/view

ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ และ วีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์. (ม.ป.ป.). การศึกษาเปรียบเทียบมาตรฐาน BIM ของต่างประเทศ. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมป์.

นพนันท์ ตาปนานนท์ และคณะ. (2561). การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ. *Unisearch Journal, 5*(1), 3-8.

ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 133 C.F.R. (2559, 30 ธันวาคม).

ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 135 C.F.R. (2561, 13 ตุลาคม).

วิทยา สุหฤทดำรง. (2564). *Smart City Standardization Framework and BIM Standard.* Paper presented at the BIM Saturday Night.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2553). มาตรฐานการจัดเตรียมแบบสร้างจริงและคู่มือเจ้าของอาคาร (Vol. 2).

สถาพร โภคา. (2563). โบราณกับงานวิศวกรรมไทย ตอน 2 Smart City หรือ City Smart แบบไทยหรือแบบสากล. วิศวกรรมสาร, *73*(3), 68-76.

สรัสไชย องค์ประเสริฐ. (2562). Smart City และ BIM แนวโน้มการทำธุรกิจในยุคดิจิทัล. from https://www.prachachat.net/columns/news-376118

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง. (2550). คู่มือตรวจสอบ และประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง (*Pavement Distress Identification Manual)*.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

1/3

แบบสัมภาษณ์เชิงลึก

1) ข้อมูลทั่วไปผู้ถูกสัมภาษณ์

หน่วยงาน.....ตำแหน่ง.....อายุการทำงาน..... ปี

งาน หรือลักษณะงาน.....

ท่าน เคยใช้ หรือมีความเกี่ยวข้องกับ BIM หรือ UIM ในด้านวิศวกรรมมาก่อนหรือไม่ อย่างไร รวมถึงนโยบายผู้บริหาร หรือองค์กร

[ ] เคย ระยะเวลา.....ปี ลักษณะงาน.....

Platform .....

[ ] ไม่เคย

2) ความเหมาะสมของประเภทแบบจำลอง ทั้งเทคนิควิธีที่ใช้พัฒนา ระดับความละเอียดการพัฒนา ข้อมูลที่ควรระบุลงในแบบจำลอง

กลุ่มแบบจำลอง (ภารกิจหลักให้ใส่เครื่องหมาย /)

[ ] Building Module [ ] Transportation Infrastructure Module

[ ] Utility Infrastructure Module [ ] Energy Infrastructure Module

[ ] Urban Furniture Module [ ] Recreational Facility Infrastructure Module

[ ] Tree and shrub Module [ ] Water & Environmental and Supply Management Infrastructure

ประเภทแบบจำลอง

[ ] BIM [ ] As-Block Model [ ] .IFC [ ] Reality Model

[ ] Point Cloud Model [ ] Raster [ ] Terrain [ ] 2D CAD

ชุดข้อมูลที่ต้องการให้ปรากฏในแบบจำลอง (กรณีใช้ในหน่วยงาน)

No.	Model

No.	Information
1	ID / Code / Name
2	Service zone (ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร จำนวนชั้น จำนวนห้อง)
3	Group and Type (ประเภทองค์กร / กิจการอาคาร / เจ้าของอาคาร)
4	Manufacturer (เช่น วัน เดือน ปี ที่ขออนุญาตก่อสร้าง ใช้งาน ชื่อผู้ขออนุญาต ชื่อผู้ออกแบบ ฯลฯ)
5	Specifications and Attributes (เช่น แบบแปลน เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการดำเนินงานทางกฎหมาย หรือเอกสารที่เป็นข้อมูลเฉพาะของอาคาร ฯลฯ)
6	Operation and Maintenance Data (เช่น สถานะอาคาร การใช้งาน ประวัติการซ่อมบำรุง รื้อถอน ติดตั้ง ฯลฯ)

ภาพ 62 แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

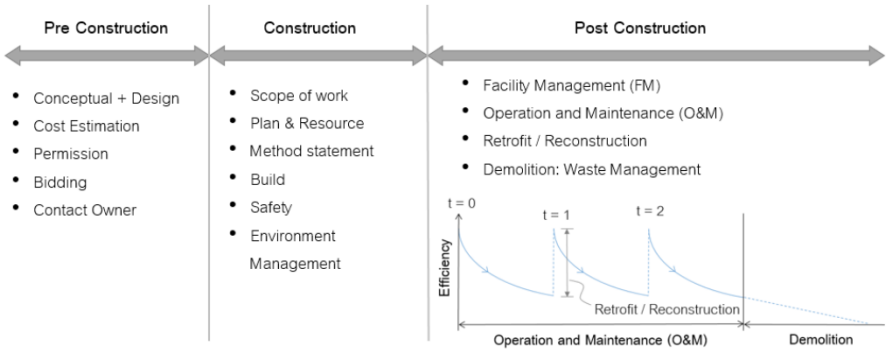
2/3

ชุดข้อมูลที่ต้องการให้ปรากฏในแบบจำลอง (กรณีหน่วยงานจำเป็นต้องใช้)

No.	Model

No.	Information
1	ID / Code / Name
2	Service zone (ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร จำนวนชั้น จำนวนห้อง)
3	Group and Type (ประเภทองค์กร / กิจการอาคาร / เจ้าของอาคาร)
4	Manufacturer (เช่น วัน เดือน ปี ที่ขออนุญาตก่อสร้าง ใช้งาน ชื่อผู้ขออนุญาต ชื่อผู้ออกแบบ ฯลฯ)
5	Specifications and Attributes (เช่น แบบแปลน เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการดำเนินงานทางกฎหมาย หรือเอกสารที่เป็นข้อมูลเฉพาะของอาคาร ฯลฯ)
6	Operation and Maintenance Data (เช่น สถานะอาคาร การใช้งาน ประวัติการซ่อมบำรุง รื้อถอน ติดตั้ง ฯลฯ)

3) ลักษณะการใช้งาน และความเหมาะสม



[ ] เหมาะสม สามารถเป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานได้ (อย่างไร โปรดระบุ)

.....

.....

.....

[ ] ไม่เหมาะสม ไม่สามารถเป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานได้ (อย่างไร โปรดระบุ)

.....

.....

.....

[ ] เฉพาะด้าน FM

.....

.....

.....

ภาพ 62 (ต่อ)

3/3

4) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

- ด้วยความเคารพ ขอบคุณครับ -

ภาพ 62 (ต่อ)

ภาคผนวก ข ผลจัดทำฐานข้อมูลท่อ และบ่อพักน้ำเสีย

ตาราง 9 ผลจัดทำฐานข้อมูลท่อ และบ่อพักน้ำเสีย

Instance Name	Instance Owner	Element ID	Catalog Name	Type
MH_สายหลัก	USER	13243995	1MH#74	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13243996	1MH#73	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13243998	1MH#72	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266606	1MH#1	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266608	1MH#2	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266609	1MH#3	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266610	1MH#3/1	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266612	1MH#4	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266614	1MH#5	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266615	1MH#6	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266616	1MH#7	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266617	1MH#8	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266618	1MH#9	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266619	1MH#10	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266620	1MH#12	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266621	1MH#13	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266622	1MH#14	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266623	1MH#15	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266624	1MH#16	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266625	1MH#17	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266626	1MH#18	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266627	1MH#19	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266628	1MH#20	Main Sewer
MH_สายหลัก	USER	13266629	1MH#21	Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266782	1MH#88-MH#1	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266783	1MH#88-MH#2	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266784	1MH#88-MH#3	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266785	1MH#88-MH#4	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266786	1MH#88-MH#5	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266787	1MH#88-MH#6	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266788	1MH#88-MH#7	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266789	1MH#88-MH#8	Sub Main Sewer

ตาราง 9 (ต่อ)

Instance Name	Instance Owner	Element ID	Catalog Name	Type
MH_สายรอง	USER	13266790	1MH#88-MH#9	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266791	1MH#88-MH#10	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266792	1MH#88-MH#11	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266793	1MH#82-MH#1	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266794	1MH#82-MH#2	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266795	1MH#82-MH#3	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266796	1MH#82-MH#4	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266797	1MH#82-MH5	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266798	1MH#82-MH#6	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266799	1MH#82-MH#7	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266800	1MH#82-MH#8	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266801	1MH#82-MH#9	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266802	1MH#82-MH#10	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266803	1MH#82-MH#14	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266804	1MH#82-MH#13	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266805	1MH#75-MH#2	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266806	1MH#75-MH#3	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266807	1MH#75-MH#4	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266808	1MH#75-MH#5	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266809	1MH#75-MH#6	Sub Main Sewer
MH_สายรอง	USER	13266810	1MH#75-MH#7	Sub Main Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267005	1MH#88-MH#11-MHs#1	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267006	1MH#88-MH#11-MHs#2	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267007	1MH#88-MH#11-MHs#3	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267008	1MH#88-MH#11-MHs#4	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267009	1MH#75-MH#3-MHs#1	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267010	1MH#75-MH#3-MHs#2	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267011	1MH#75-MH#3-MHs#3	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267012	1MH#75-MH#3-MHs#4	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267013	1MH#75-MH#7-MHs#1	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267014	1MH#75-MH#7-MHs#2	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267015	1MH#75-MH#14-MHs#1	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267016	1MH#75-MH#14-MHs#2	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267017	1MH#75-MH#10-MHs#1	Sub Sewer

ตาราง 9 (ต่อ)

Instance Name	Instance Owner	Element ID	Catalog Name	Type
MH_สายย่อย	USER	13267018	1MH#75-MH#10-MHs#2	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267019	1MH#75-MH#10-MHs#3	Sub Sewer
MH_สายย่อย	USER	13267020	1MH#75-MH#10-MHs#4	Sub Sewer
MH_รับน้ำฝน	USER	12704313	L-MHP1	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267138	L-MHP2	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267139	L-MHP3	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267140	L-MHP4	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267141	L-MHP5	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267142	L-MHP6	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267143	L-MHP7	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267144	L-MHP8	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267145	L-MHP9	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267146	L-MHP10	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267147	L-MHP11	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267148	L-MHP12	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267149	L-MHP13	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267150	L-MHP14	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267151	L-MHP15	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267152	L-MHP16	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267153	L-MHP17	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267154	L-MHP18	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267155	L-MHP19	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267156	L-MHP20	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267157	L-MHP21	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267158	L-MHP22	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267159	L-MHP23	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267160	L-MHP24	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267161	L-MHP25	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267162	L-MHP26	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267163	L-MHP27	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267164	L-MHP28	Runoff
MH_รับน้ำฝน	USER	13267165	L-MHP29	Runoff

ภาคผนวก ค ผลสัมภาษณ์กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 10 ผลสัมภาษณ์กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

งาน	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีใช้ในหน่วยงาน)	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีหน่วยงานจำเป็นต้องใช้)
อาคาร	กรณี เป็นเจ้าของงาน ส่วนใหญ่ เป็นงานก่อสร้างปรับปรุง และงานบริการประชาชนตามภารกิจ หากพัฒนา BIM ใช้เองในหน่วยงาน ต้องการแบบจำลองที่มีรายละเอียดครบถ้วนระดับ As Built Drawing โดยให้มีข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับอาคารตั้งแต่ กระบวนการออกแบบ ประมูล ก่อสร้าง ตรวจรับงาน ส่งมอบ และบำรุงรักษา เพื่อความสะดวกในการโดนเรียกตรวจสอบ สำหรับการจัดทำฐานข้อมูลเมือง กรณีเป็นเจ้าพนักงานควบคุมการอนุญาตก่อสร้าง แบบแปลนที่ผู้ขออนุญาต ต้องเป็นไปตามกฎหมาย แต่หากจัดทำเป็น BIM มาก็อาจทำให้การตรวจสอบได้ง่ายขึ้น ข้อมูลแบบไม่กราฟิกที่ต้องการ ได้แก่ ชื่ออาคาร ที่ตั้ง เลขที่ พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร มิติอาคาร จำนวนชั้น จำนวนห้อง ประเภทกิจการ เจ้าของ วัน เดือน ปี ที่อนุญาตก่อสร้าง สถานะใช้งาน ตลอดจนแบบแปลน หรือเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการดำเนินการทางกฎหมาย เพื่อความสะดวกในการค้นหาให้บริการประชาชน และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานชุมชน	เนื่องจากตามภารกิจแล้ว ส่วนใหญ่เป็นงานบริการประชาชน หากมีฐานข้อมูลจากหน่วยงานอื่น (ที่สามารถเปิดเผยได้ระหว่างหน่วยงานรัฐได้) จะทำให้การดำเนินงาน กำหนดนโยบายต่าง ๆ ทำได้รวดเร็วขึ้น สำหรับข้อมูลกราฟิกที่ต้องการจากหน่วยงานอื่น หากไม่ได้เป็นเจ้าของงานเอง ต้องการแบบจำลองระดับ Block Model ก็เพียงพอ เพื่อประหยัดทรัพยากร แต่เห็นควรมีข้อมูลพื้นฐานแบบไม่กราฟิกพ่วงด้วย เช่น ชื่อสิ่งปลูกสร้าง ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้าง มิติ ประเภทองค์กร เจ้าของ หน่วยงานที่รับผิดชอบ เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการสืบค้น และติดต่อ โดยเฉพาะแนวเขตที่ดิน โฉนด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่เฉพาะข้อมูลอาคาร แต่รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่อยู่ในองคาพยพของเมือง ไม่ว่าจะอยู่หน่วยงานใดก็ตาม ที่ต้องการความชัดเจน คือเรื่องแนวเขตความเป็นเจ้าของ ส่วนใหญ่ใช้ในการให้บริการประชาชน และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานชุมชน

ตาราง 10 (ต่อ)

งาน	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีใช้ในหน่วยงาน)	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีหน่วยงานจำเป็นต้องใช้)
ทาง และ สะพาน	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองมีข้อมูลครบถ้วน ระดับ As Built Drawing เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง สำหรับการพัฒนา BIM ในกลุ่มนี้ ส่วนใหญ่ใช้ในขั้นตอนก่อสร้าง -ข้อมูลไม่กราฟิก; ควรมีรายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับโครงการ ตั้งแต่กระบวนการออกแบบก่อสร้าง การซ่อมบำรุง และอื่น ๆ ตามภารกิจสำหรับเผื่อโดนเรียกตรวจ	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป พร้อมมีพิกัดชัดเจน เพื่อใช้ประกอบวางแผนต่อขยายโครงการต่อไป - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสืบค้นเบื้องต้น สำหรับการพัฒนาโครงการ
ประปา และ สุขาภิบาล	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบมีข้อมูลครบถ้วน ระดับ As Built Drawing ส่วนใหญ่นำไปให้เพื่อการซ่อมบำรุง และต้องเป็นแบบจำลองที่พัฒนาจากชิ้นส่วนอัจฉริยะ ซึ่งเผื่อไว้สำหรับการนำไปจำลองสถานการณ์การไหลในท่อต่อไป -ข้อมูลไม่กราฟิก; ควรมีรายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับโครงการ ตั้งแต่กระบวนการออกแบบก่อสร้าง การซ่อมบำรุง และอื่น ๆ ตามภารกิจ	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป มีพิกัดชัดเจน เนื่องจากด้านนี้ส่วนใหญ่แล้วเป็นงานใต้ดิน ดังนั้นค่าพิกัด และระดับจึงมาความสำคัญมาก เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงาน - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสืบค้นเบื้องต้น สำหรับการพัฒนาโครงการต่อไป

ตาราง 10 (ต่อ)

งาน	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีใช้ในหน่วยงาน)	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีหน่วยงานจำเป็นต้องใช้)
ผังเมือง	กรณีเป็นเจ้าของงาน ส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้าง ปรับปรุง ควบคุม และกำกับดูแลการก่อสร้างให้เป็นไปตามผังเมือง หากพัฒนา BIM ใช้เองในหน่วยงาน ต้องการแบบจำลองที่มีรายละเอียดครบถ้วน ระดับ As Built Drawing โดยอยากให้แสดงข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับอาคาร ตั้งแต่กระบวนการออกแบบ ประมูลก่อสร้าง ตรวจรับงาน ส่งมอบ และบำรุงรักษา เพื่อความสะดวกในการค้นหา หากจัดทำ BIM ก็อาจทำให้การตรวจสอบได้ง่ายขึ้น และหากนำไปทำฐานข้อมูลเมือง ข้อมูลแบบไม่กราฟิกที่ต้องการ ได้แก่ ชื่ออาคาร ที่ตั้ง พิกัด ชนิดโครงสร้างอาคาร มิติอาคาร จำนวนชั้น จำนวนห้อง ประเภทกิจการ เจ้าของ วัน เดือน ปี ที่อนุญาตก่อสร้าง สถานะใช้งาน ตลอดจนแบบแปลน หรือเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการดำเนินการทางกฎหมาย	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป มีพิกัดรูปทรง มิติอาคารชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการทำงานตามภารกิจ และดูแนวโน้มการเติบโตของเมือง เพื่อนำไปกำหนดผังเมือง หรือ Zoning ต่อไป - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ชัดเจน เช่น โฉนดที่ดิน เป็นต้น
ไฟฟ้า และสื่อสาร	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการระดับ As Built Drawing ขึ้นไป ซึ่งแต่ละชิ้นงาน เช่น เสาไฟ สายไฟ สายส่งสัญญาณ อาจต้องมีรหัส (Barcode) ในการดำเนินการ เพื่อความสะดวกในการค้นหาใช้งานระหว่างหน้าจอคอมพิวเตอร์ กับหน้างานจริง -ข้อมูลไม่กราฟิก; ควรมีรายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับโครงการ ตั้งแต่กระบวนการออกแบบก่อสร้าง การซ่อมบำรุง รวมถึงสถิติ และข้อมูลอื่น ๆ ตามภารกิจ	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป มีพิกัดรูปทรง มิติอาคารชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการทำงานตามภารกิจ เช่น การวางแนวเสาไฟ การขยายเขต เป็นต้น - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับวางแผน และปฏิบัติงานตามภารกิจต่อไป

ตาราง 10 (ต่อ)

งาน	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีใช้ในหน่วยงาน)	ข้อมูลที่ควรระบุในแบบจำลอง (กรณีหน่วยงานจำเป็นต้องใช้)
ชลประทาน	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการระดับ As Built Drawing ขึ้นไป ควรแสดง DEM หรือ DTM ประกอบ เนื่องจากงานด้านชลประทาน ทำในลักษณะพื้นที่กว้าง ต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ประกอบสำหรับสิ่งก่อสร้าง เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ คลองส่งน้ำ ประตูน้ำ ฯลฯ การพัฒนาควรใช้ชิ้นส่วนอัจฉริยะในการพัฒนา เพื่อนำไปสู่การจำลองสถานการณ์ด้านการระบายน้ำต่อไป -ข้อมูลไม่กราฟิก; ควรมีรายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับโครงการ ตั้งแต่กระบวนการออกแบบก่อสร้าง การซ่อมบำรุง ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ รวมถึงสถิติ และข้อมูลอื่น ๆ ด้วย	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป มีพิกัดรูปทรง มิติอาคารชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการทำงานตามภารกิจ เช่น การขยายพื้นที่ชลประทาน การแก้ปัญหาทางด้านชลศาสตร์ และอุทกวิทยาต่าง ๆ เป็นต้น - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการพัฒนาโครงการ หรือปฏิบัติงานตามภารกิจต่อไป
บริษัทที่ปรึกษาเอกชน	ลักษณะเป็นบริษัทที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมเอกชน ให้บริการออกแบบ ให้คำปรึกษาด้านการก่อสร้าง และก่อสร้าง ตามขอบเขตการจ้างงาน - ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบมีข้อมูลครบถ้วน As Built Drawing เน้นเรื่องการนำไปใช้ต่อแบบบูรณาการทุกขั้นตอน และหลังจากส่งมอบโครงการ จะส่งต่อแบบจำลองอาคารให้เจ้าของอาคาร ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงช่วงหลังก่อสร้าง O&M - ข้อมูลไม่กราฟิก; ควรมีรายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับงานให้มากที่สุด เช่น คุณสมบัติวัสดุจากผู้ผลิต ผลทดสอบวัสดุ ผลการตรวจรับงานตลอดจนข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการอาคารหลังการก่อสร้าง เพื่อให้เจ้าของงานใช้เป็นฐานข้อมูลอาคารต่อได้	- ข้อมูลกราฟิก; ต้องการแบบจำลองต่าง ๆ ของเมือง ทั้งอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ อย่างน้อยระดับ Block Model ขึ้นไป มีพิกัด รูปทรง มิติอาคารชัดเจน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการทำงาน วางแผนก่อสร้าง การเคลื่อนย้ายเครื่องจักร การกำหนดมาตรการด้านสิ่งแวดล้อม สุขอนามัย และความปลอดภัย รวมถึงอื่น ๆ - ข้อมูลไม่กราฟิก; เน้นแสดงว่าอะไร เป็นอะไร แสดงชื่อ พิกัด มิติ ความเป็นเจ้าของ หน่วยงานรับผิดชอบ รวมถึงแนวเขตที่ดินที่ชัดเจน เพื่อลดข้อพิพาทที่จะเกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน

ภาคผนวก ง ผลจัดทำฐานข้อมูลวัตถุใต้ดิน (ท่อ ประปา น้ำเสีย บ่อพักน้ำเสีย)

ตาราง 11 บันทึกประวัติรอยชำรุดของถนน

ID	Location | Site	Type	Detail	Area (sq.m)	Description
01	กม.0+875 ถึง 0+900	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 35.8 เซนติเมตร ลึก 3.5 เซนติเมตร	7.46	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
02	กม. 0+950 ถึง 0+975	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 9 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	17.40	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
03	กม. 1+000 ถึง 1+025	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 2.5 เซนติเมตร ลึก 1.5 เซนติเมตร	26.35	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
04	กม. 1+075 ถึง 1+100	รอยแตกตามขวาง	กว้าง10 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	5.13	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
05	กม. 1+100 ถึง 1+125	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 20 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	8.11	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
06	กม. 1+150 ถึง 1+175	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 15 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	13.42	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ตาราง 11 (ต่อ)

ID	Location | Site	Type	Detail	Area (sq.m)	Description
07	กม. 1+200 ถึง 1+225	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 4 เซนติเมตร ลึก 2.3 เซนติเมตร	5.18	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
08	กม. 1+200 ถึง 1+225	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 4 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	2.76	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
09	กม. 1+225 ถึง 1+250	รอยแตกตามยาว	กว้าง 2 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	43.77	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
10	กม. 1+225 ถึง 1+250	รอยแตกบริเวณรอยต่อ	ซ่อมแล้ว	1.44	แก้ไขแล้ว (23/03/65)
11	กม. 1+250 ถึง 1+275	รอยแตกตามขวาง	กว้าง 9 เซนติเมตร ลึก 0.5 เซนติเมตร	2.99	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
12	กม. 1+300 ถึง 1+325	แตกบริเวณรอยต่อ	กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ลึก 1.5 เซนติเมตร	1.76	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร
13	กม. 1+325 ถึง 1+350	รอยแตกตามยาว	กว้าง 10 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร	24.78	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ตาราง 11 (ต่อ)

ID	Location | Site	Type	Detail	Area (sq.m)	Description
14	กม. 1+650 ถึง 1+675	รอยแตกตามยาว	กว้าง 11 เซนติเมตร ลึก 5 เซนติเมตร	42.84	ระดับความรุนแรง; สูง เป็นรอยแตกที่ปะซ่อมแล้ว มีความกว้าง และความลึกมากกว่า 6 มิลลิเมตร และมีรอยบิ่นแตกมากกว่า 50 มิลลิเมตร

หมายเหตุ : สำรวจ ธันวาคม 2564 และปรับปรุงข้อมูล มีนาคม 2565