



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ระเบียบวิธีแบบจำลองวัตถุใต้ดินสามมิติ สำหรับแบบจำลองสารสนเทศเมือง

Methodology of 3D underground object model for urban information modeling (UIM)

พีระพงษ์ แก้วพูลสุข^{1*} กำพล ทรัพย์สมบูรณ์^{2, 3}

^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

³ สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศด้านทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

Perapong Kaewpoonsuk^{1*} Kumpon Subsomboon^{2, 3}

^{1, 2} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University Phitsanulok 65000

³ Water Resources Research Center, Faculty of Engineering, Naresuan University Phitsanulok 65000

* Corresponding author.

E-mail: perapongk@nu.ac.th; Telephone: 08 8281 3956

วันที่รับบทความ 26 กันยายน 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 18 ตุลาคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 4 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 10 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอระเบียบวิธีแบบจำลองวัตถุใต้ดินสามมิติ สำหรับบูรณาการ และพัฒนาเป็นแบบจำลองสารสนเทศเมือง (UIM) เพื่อเป็นเครื่องมือ และฐานข้อมูลวิศวกรรมใต้ดิน สำหรับรองรับการทำงานเมืองอัจฉริยะแบบ Digital Twin ภายใต้กิจกรรมก่อสร้าง บำรุงรักษา และจัดการทรัพยากรกายภาพ โดยขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ใช้มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นพื้นที่ศึกษา พัฒนาทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ประกอบด้วยท่อประปา ท่อน้ำเสีย ท่อระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อพักน้ำเสีย ท่อสายไฟ และสายสื่อสารใต้ดิน ใช้ระดับพัฒนาระดับก่อสร้างขึ้นไป จากนั้นทดลองใช้ภายใต้กิจกรรมก่อสร้างดังกล่าวจากผู้เกี่ยวข้อง ปรากฏว่า แบบจำลองวัตถุใต้ดินที่พัฒนาขึ้นสามารถบูรณาการร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศเมืองที่มีอยู่เดิมได้ ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน การเข้าถึงข้อมูล ค้นหาข้อมูล มุมมองการแสดงผล การแก้ไขข้อมูล และเชื่อมโยงข้อมูลในมิติต่าง ๆ มีประสิทธิภาพดีมาก ช่วยให้ข้อมูลเป็นระเบียบ ลดความซ้ำซ้อน ผิดพลาดลงได้ แม้การบูรณาการกับแพลตฟอร์มอื่นยังมีความซับซ้อน ต้องใช้ทักษะ และความชำนาญเฉพาะด้านเป็นอย่างมาก แต่กระบวนการโดยรวมจะช่วยลดเวลาปฏิบัติงานลงได้ เฉลี่ยร้อยละ 28.73 ในขณะที่ช่วยเพิ่มผลิตภาพแรงงาน ได้ เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.34 ต่อคน ต่อโครงการ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม

คำสำคัญ

วัตถุใต้ดิน แบบจำลองสารสนเทศอาคาร แบบจำลองสารสนเทศเมือง การจัดการทรัพยากรกายภาพ เมืองอัจฉริยะ ฝาแฝดดิจิทัล

Abstract

This research proposes a three-dimensional underground object modeling method for integration and development into an Urban Information Model (UIM) to support the operation of a Digital Twin smart city under construction, maintenance, and facility management. It expands on the Building Information Modeling (BIM) concept using Naresuan University as a study area, developing both graphic and non-graphic data, including pipes, sewage systems, wastewater treatment systems, septic tanks, electrical conduits, and underground communication cables. The developed underground object model can be seamlessly integrated with existing urban information models, both graphic and non-graphic, facilitating data accessibility, searchability, visualization, data editing, and cross-dimensional data linkage. This significantly enhances data organization, reduces redundancy, and minimizes errors. Although integration with other

platforms may be complex and require high levels of skill and expertise, the process overall reduces task execution time by an average of 28.73% while increasing labor productivity by 0.34% per person per project compared to traditional methods.

Keywords

underground objects; BIM; UIM; facility management; smart city; digital twin

1. คำนำ

การตั้งถิ่นที่อยู่อาศัยของประชากรโลกปัจจุบันมีแนวโน้มย้ายเข้าสู่เขตเมืองมากขึ้น [1] หลายประเทศจึงให้ความสำคัญกับการจัดการเมืองอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะด้านวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐาน และการจัดการทรัพยากรกายภาพ ที่ต้องตระหนักถึงความถูกต้องข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่เดิม หรือก่อสร้างใหม่ เช่น อาคาร ถนน สะพาน แหล่งน้ำ ระบบประปา ระบบระบายน้ำเสีย ระบบสุขภาพ การป้องกันภัยพิบัติ สภาพสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นระบบวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง และซับซ้อน

แนวคิดเมืองอัจฉริยะ (Smart City) แบบ Digital Twin ถูกกล่าวถึง และนำมาใช้บริหารจัดการเมืองมากขึ้น โดยผสมผสานระบบเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศ กับองค์ประกอบทั้งหมดของเมืองเข้าด้วยกัน เรียก แบบจำลองสารสนเทศเมือง (UIM) [2] โดยปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา เพื่อเป็นฐานข้อมูล และนำข้อมูลดังกล่าวไปแก้ปัญหาเมือง โดยเฉพาะด้านวิศวกรรมเพื่อให้เมืองเกิดประสิทธิภาพ (Efficiency) สูงสุด น่าอยู่อาศัย (Livable) และยั่งยืน (Sustainable)

ทั่วไปสิ่งปลูกสร้างบนดินมีข้อมูลที่เข้าถึงได้จำนวนมาก การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพภายนอกได้ง่าย เช่น การสำรวจด้วยสายตา การบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) แต่สำหรับสิ่งปลูกสร้างใต้ดิน มีข้อจำกัดบางประการ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ง่าย ทำให้ส่งผลถึงตำแหน่ง ความถูกต้องแม่นยำ และสภาพของวัตถุที่ถูกฝังอยู่ รวมถึงสภาพพื้นที่ที่ยังไม่มีข้อมูล (ประเภท ตำแหน่ง สภาพ ลักษณะ) สนับสนุนมากนัก อีกทั้งส่วนใหญ่มักถูกฝังอยู่ใต้โครงสร้างพื้นฐานอื่น เช่น ถนน ทางเดินเท้า ฯลฯ ไม่สามารถมองเห็นได้โดยทั่วไป ทำให้ยุ่งยากหากต้องการขุด ค้นหา หรือตรวจสอบ ซึ่งการกระทำดังกล่าวล้วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของเมือง หากไม่มีข้อมูลเพียงพอจะส่งผลกระทบต่อการทำงาน และการบริหาร

จัดการเมืองอย่างมาก ทั้งด้านความล่าช้า และค่าใช้จ่ายที่ตามมา ภายใต้กิจกรรมก่อสร้าง บำรุงรักษา ควบคุมการใช้พื้นที่ทั้งบนดิน และใต้ดิน รวมถึงการวางแผนงานในอนาคต [3-6] ที่เกี่ยวข้องกับผู้ว่าจ้าง ผู้ออกแบบ และผู้ก่อสร้าง ที่ต้องอาศัยข้อมูล และทำงานที่ประสานกัน การมีข้อมูลที่เชื่อถือได้ และเชื่อมโยงกันจะช่วยลดความเสี่ยงการเกิดความผิดพลาดของงานได้ [7-9] โดยเฉพาะการมีข้อมูลแบบจำลองสามมิติ [10]

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling - BIM) ถูกกล่าวถึงว่าเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาฐานข้อมูลเมืองอัจฉริยะ [11] และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการทำงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง ทั้งการทำงานในระดับโครงการก่อสร้าง และระดับเมือง โดยเฉพาะสิ่งปลูกสร้างเหนือพื้นดิน แต่สำหรับสิ่งปลูกสร้างใต้ดิน เช่น ท่อ (ประปา น้ำเสีย บ่อพักน้ำเสีย) ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน สายไฟฟ้า และสายสื่อสาร) ข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำใต้ดิน ชั้นดิน และข้อมูลทางธรณีวิทยาอื่น ๆ [4, 12, 13] ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก [6] ทำให้เป็นความท้าทายใหม่ของการพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน

เพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ แบบ Digital Twin และพัฒนาฐานข้อมูลแบบจำลองทางวิศวกรรม การวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดระเบียบวิธีพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน เพื่อให้บูรณาการการพัฒนาเป็น UIM ได้ โดยขยายแนวคิด BIM และทดลองใช้กับพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นกรณีศึกษา เพื่อแสดงให้เห็นว่าระเบียบวิธีการพัฒนาดังกล่าว สามารถพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน และสามารถบูรณาการรวมกับ UIM ได้ จะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการทำงานก่อสร้าง บำรุงรักษา และการจัดการทรัพยากรกายภาพ

2. ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยในอดีต

ส่วนนี้กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ความหมาย การพัฒนา องค์ประกอบ BIM กับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ แบบจำลองวัตถุได้ดินกับงานก่อสร้าง รวมถึงงานวิจัยในอดีต ดังนี้

2.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

2.1.1 ความหมาย หลักการทำงาน และระดับพัฒนา

มีผู้ให้ความหมาย BIM ไว้มากมาย พอสรุปได้ว่า BIM ย่อจาก Building Information Modeling เกิดจากคำสองคำ คือ คำว่า แบบจำลองอาคาร กับคำว่า ข้อมูล ซึ่งนำมารวมกันแล้วหมายถึง กระบวนการแบบจำลองสามมิติ ที่มีรูปแบบดิจิทัล มีข้อมูลระบุไว้ในแต่ละชิ้นส่วนวัตถุ ตามระดับการพัฒนา (Level of Development - LOD) มีระเบียบแบบแผน มุ่งเน้นให้มีความอัจฉริยะ สามารถใช้เป็นศูนย์กลาง สำหรับการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตลอดวงจรชีวิตอาคาร (Building life cycle) โดยครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการเตรียมการ ขั้นตอนการขออนุญาต ออกแบบ วางแผน หาปริมาณงาน ดำเนินการก่อสร้าง จัดการเอกสาร จัดทำฐานข้อมูล จำลองการใช้พลังงาน บริหารจัดการพื้นที่ บำรุงรักษา ฟื้นฟูบูรณะ (Rehabilitation or retrofits) ถึงการรื้อถอนอาคาร โดยอาศัยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือ

หลักการทำงาน BIM นอกจากอาศัยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือแล้วยังต้องมี BIM Platform ที่เป็นตัวหลัก ใช้สร้างข้อมูล หรือชิ้นส่วนของแบบจำลองแบบพารามетริก ที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น Revit®, ArchiCAD®, Bentley® System, Tekla® Structures, Vectorworks® ฯลฯ อินเทอร์เน็ตเฟส-บริกายในประกอบด้วย 1.1) BIM Tool เป็นเครื่องมือสนับสนุนการทำงาน รับ ส่ง ประมวลผลข้อมูล ที่อยู่ในแพลตฟอร์มเดียวกัน เช่น เครื่องมือสำหรับ จัดทำข้อกำหนด (Specification generation) การประมาณราคา (Cost estimation) ตารางกำหนดเวลา (Scheduling) และ Excel-based engineering และ 1.2) BIM Environment เป็นชุดแอปพลิเคชัน หรือชุดคำสั่งที่ใช้สนับสนุนการเชื่อมโยงข้อมูล

ของกระบวนการต่าง ๆ ในโครงการ หรือองค์กร รวมถึง Tool, Platform, Server และ Work Flows ต่าง ๆ ด้วย

โดยมีระดับพัฒนาเป็นตัวแบ่งชั้นลักษณะทางเรขาคณิต และข้อมูลที่ติดกับแบบจำลอง ซึ่งหมายถึง เนื้อหา หรือข้อมูลที่ต้องการระบุในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในแต่ละชิ้นส่วนแบบจำลอง ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก แบ่งเป็นห้าระดับ ได้แก่ LOD100, LOD200, LOD300, LOD400, LOD500 อย่างไรก็ตาม ในเอกสาร Guide and Instructions to the AIA Digital Practice Documents มีการกล่าวถึง LOD 350 ซึ่งเป็นระดับก่อสร้าง เพิ่มขึ้นมาจากมาตรฐานอื่น

2.1.2 มิติการทำงาน

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

อย่างไรก็ตาม ในแต่ละมิติของกระบวนการจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถถ่ายโอน และพัฒนาเพื่อใช้ระดับเมือง ซึ่งโดยรวมแล้วกล่าวถึงความยั่งยืน ซึ่งถือว่าเป็นมิติที่แปด (หรืออาจเป็นเจ็ด) ที่รวมการรื้อถอนอาคาร และการจัดการของเสีย

2.2 BIM กับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ

ปัจจุบัน BIM ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และการพัฒนาเมืองอัจฉริยะเป็นอย่างมาก ถือเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อน [11] ทำให้เกิดแนวคิดบูรณาการทางไซเบอร์เข้ากับแบบจำลองทางกายภาพ ทั้งองค์ประกอบของเมือง (รูปที่ 1) ทั้งด้านกราฟิก และข้อมูล รวมถึงปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence - AI) และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things - IoT) เข้าด้วยกัน เรียก Digital Twin [14], [15] และ [16] ที่มุ่งหวังให้เป็นฐานข้อมูลเมืองดิจิทัล แบบไม่มีที่สิ้นสุด (Big data) เพื่อใช้วางแผน หรือแก้ปัญหาเมือง สิ่งปลูกสร้างได้ดิน เช่น ท่อประปา ท่อน้ำเสีย บ่อพักน้ำเสีย ท่อแก๊ส ท่อ

สายไฟฟ้า และสายสื่อสาร อุโมงค์ ฯลฯ ก็ล้วนถือเป็นส่วนหนึ่งของเมือง



รูปที่ 1 โมเดลแบบจำลองสารสนเทศเมือง

Keller (ปรากฏใน Chuck Eastman, Rafael Sacks, Ghang Lee, Paul Teicholz. [17]) พัฒนาแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน Vitoria London ทั้งส่วนบนดิน และใต้ดิน ซึ่งเป็นสถานที่ทางประวัติศาสตร์ สำหรับขยายพื้นที่บริการ โดยมีเงื่อนไขต้องอนุรักษ์ของเก่าไว้ให้มากที่สุด การนี้เก็บข้อมูลด้วย 3D Laser Scanner จากนั้นพัฒนาเป็น BIM พร้อมจัดทำฐานข้อมูลชั้นดิน เพื่อวางแผนขุดเจาะอุโมงค์เพิ่มเติม แสดงผลแบบเสมือน ปรากฏว่า ลดความเสี่ยงการทำงานได้ในระดับดีมาก ลดการล่าช้าทำให้ประหยัดต้นทุนได้ประมาณสี่ล้านปอนด์

ระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนเมืองปอร์โต (H2Porto) โปรตุเกส [18] จึงนำแนวคิด Digital Twin มาใช้ เช่น คาดการณ์ความต้องการใช้น้ำ น้ำท่วม หรือน้ำทะเลหนุนสูง การบริหารจัดการกระทำผ่านเซิร์ฟเวอร์แบบรวมศูนย์ ใช้ข้อมูลตรวจวัดจากระบบเซ็นเซอร์ จากแหล่งที่มากกว่า 20 สถานี ตั้งแต่เรียกเก็บเงิน บำรุงรักษา บัญชี การจัดการห้องปฏิบัติการ จากปัญหาความหนาแน่น และความซับซ้อนของโครงสร้างชลศาสตร์พื้นฐานเมือง ปรากฏว่า ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพ และเพิ่มความมั่นคงด้านน้ำของเมืองได้ดีขึ้น

สำหรับประเทศไทย การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ เป็นนโยบายหลัก บรรจุในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561 ถึง 2580) [19] แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.

2560 – 2564) [20] และนโยบายประเทศไทย 4.0 ซึ่งงานวิจัยในประเทศส่วนใหญ่พัฒนาฐานข้อมูลสิ่งปลูกสร้างบนพื้นฐานของเทคโนโลยี GIS ที่มีจุดเด่นด้านตำแหน่ง และระบบพิกัดโลก แม้หลายงานวิจัยมีความพยายามบูรณาการกับซอฟต์แวร์สามมิติอย่าง Google SketchUp เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสิ่งปลูกสร้าง โดยเริ่มต้นจากโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรร [21] ที่เน้นด้านการแสดงผลเป็นหลัก ซึ่งวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดหลายประการ เมื่อเทียบกับ BIM

2.3 แบบจำลองวัตถุใต้ดินกับงานก่อสร้าง

โดยทั่วไปเมื่อมีการดำเนินการเกี่ยวกับเมือง เช่น ซ่อมแซม ขุด เจาะ หรือติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานใหม่ เช่น ท่อ สายเคเบิล หรือการดำเนินการอื่น ๆ บริเวณท้องถนน ทางเดินเท้า มักมีความเสี่ยงที่จะทำให้สิ่งที่มีอยู่ใต้ดินเกิดความเสียหายได้ ก่อนดำเนินกิจกรรมก่อสร้างจึงต้องมีการสำรวจจัดทำแผนที่วัตถุใต้ดิน ที่บางครั้งอาศัยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ (เช่น เรดาร์เจาะพื้น) ร่วมกับการสังเกตด้วยสายตา (เช่น ตำแหน่งวาล์ว บ่อพัก) และแบบก่อสร้างเดิม แต่ก็ยังมีความไม่แน่นอน โดยเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับระดับความลึก [22, 23] แม้การดำเนินกิจกรรมวางท่อ ปัจจุบันนิยมใช้วิธีไม่ขุดเปิดหน้าดิน (Trenchless Technic) เช่น การดันสอดด้วยไฮดรอลิก (Pipe Jacking) การเจาะอุโมงค์ขนาดเล็ก (Micro Tunneling) และการขุดเจาะวางท่อใต้ดินในแนวราบโดยไม่เปิดหน้าดิน (Horizontal Directional Drilling - HDD) ซึ่งมีข้อดีมากกว่าการทำงานแบบดั้งเดิม (แบบขุดเปิดหน้าดิน) เช่น ลดความแออัด การจราจร ลดผลกระทบกับชุมชน และสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ลดความเสียหายโครงสร้างพื้นฐานบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ทำงาน ฯลฯ เนื่องจากพื้นผิวดิน และพื้นดินมีความทึบแสง มีองค์ประกอบไม่แน่นอน ทำให้การระบุตำแหน่งโครงสร้างพื้นฐานที่ถูกฝังอยู่ใต้ดินตามวิธีดั้งเดิมอาจไม่เพียงพอ แบบจำลองสามมิติที่มีข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งโครงสร้างพื้นฐานที่เชื่อถือได้ จะช่วยลดความเสี่ยงข้อผิดพลาดในการก่อสร้างได้มากขึ้น [24] และทั้งข้อมูลบนดิน ใต้ดิน บางอย่างต้องพึ่งพากัน [25]

David Chapman, Stylianos Provdakis, Christopher Rogers [6] ได้เสนอแนวคิดพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดินด้วยแพลตฟอร์ม Google SketchUp สำหรับใช้วิเคราะห์หา

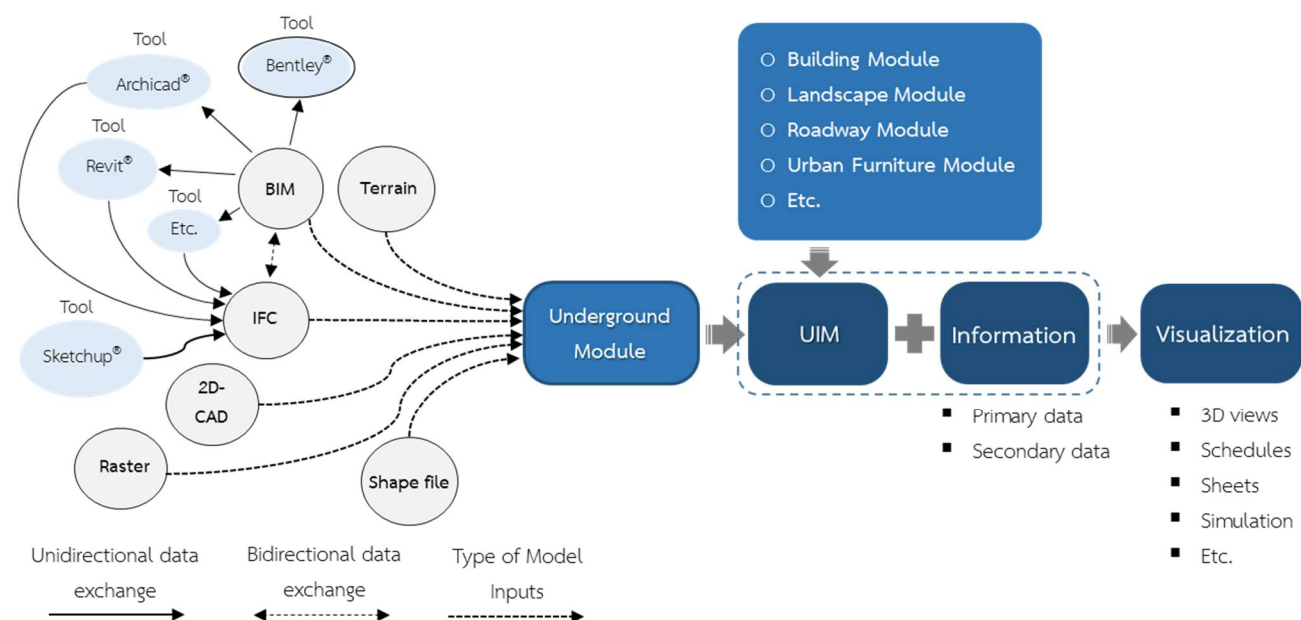
การเคลื่อนตัวของพื้นดิน (ผิวดิน และใต้ดิน) ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB โครงการก่อสร้างท่อระบายน้ำเพิ่มเติม ปรากฏว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ ส่วนใหญ่เป็นด้านข้อมูลไม่กราฟิกในชั้นส่วนแบบจำลอง ที่แพลตฟอร์มไม่มีแอตทริบิวต์ของวัตถุ (หรือมี แต่น้อยมาก) มารองรับข้อมูล ซึ่งเน้นการแสดงผลภาพกราฟิกเท่านั้น [17] ซึ่งหากพัฒนาด้วย BIM อย่างเต็มรูปแบบ จะลดข้อจำกัดเหล่านี้ลงได้

3. กรอบแนวคิด และระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้ทดลองพัฒนากับพื้นที่กรณีศึกษา คือมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก กองอาคาร และสถานที่ ในฐานะมีหน้าที่กำกับดูแลการก่อสร้าง ทำหน้าที่เป็นเจ้าของพื้นที่ (Local Administration Officer) แบบจำลองสารสนเทศวัตถุใต้ดิน (กรณีก่อสร้างใหม่) ได้มาจากผู้ก่อสร้าง (โครงการที่ดำเนินงานก่อสร้างเอง) เนื่องจากในปัจจุบันการกำหนดสัญญาก่อสร้าง ระหว่างเจ้าของงาน และผู้รับจ้าง มักระบุความต้องการ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือแบบจำลองโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ที่กำหนดให้ส่งมอบแบบจำลอง พร้อมการส่งมอบงาน หรือปิดโครงการ แต่หากเป็นโครงการที่ดำเนินการก่อสร้างด้วยหน่วยงานอื่น การได้มา

ซึ่งแบบจำลองดังกล่าว ได้จากขั้นตอนการขออนุญาตก่อสร้างที่กำหนดให้ ผู้ใดจะก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน ถอนอาคาร ต้องยื่นเอกสาร แผนผังบริเวณ แบบแปลน รายการประกอบแบบแปลน และรายการคำนวณ ตามระเบียบของทางมหาวิทยาลัย

กรอบแนวคิดการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศวัตถุใต้ดิน (รูปที่ 2) พัฒนาด้วย BIM โดยอาศัยข้อมูลจากแบบก่อสร้างจริง (2D CAD) ร่วมกับการสำรวจพื้นที่ บูรณาการกับแบบจำลองทางภูมิประเทศ (Terrain Model), ข้อมูลชั้นดิน, ข้อมูลแผนที่ (Raster), Shape file (Vector), ที่ได้จากเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) นำไปสู่การแสดงผล (ข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก) และประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้างครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตสิ่งปลูกสร้าง ภายใต้แพลตฟอร์ม Bentley® System โดยมุ่งหวังให้ระเบียบวิธีการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศวัตถุใต้ดินนี้ สามารถนำไปบูรณาการกับแบบจำลองเดิมที่มีอยู่ และพัฒนาเป็น UIM ได้ จากปัญหาการขาดแคลนเครื่องมือ และฐานข้อมูลวิศวกรรมใต้ดิน สำหรับการรองรับการทำงานเมืองอัจฉริยะ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับโครงการก่อสร้าง โรงเรียน มหาวิทยาลัย โครงการแหล่งที่พักอาศัย องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ชุมชน หมู่บ้าน หรือโครงการพัฒนาพื้นที่ต่าง ๆ ภายใต้กิจกรรมก่อสร้าง บำรุงรักษา การใช้พื้นที่ทั้งบนดิน และใต้ดิน รวมถึงการวางแผนงานในอนาคตต่อไป



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดระเบียบวิธีพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน

ระเบียบวิธีวิจัย ประกอบด้วยสามขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1 กำหนดกรอบแนวคิด และระเบียบวิธีพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน

กำหนดกรอบแนวคิด และระเบียบวิธีพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน (รูปที่ 2) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สนับสนุนการทำงาน UIM มีความเป็นอัจฉริยะ อัตโนมัติ สามารถใช้งานร่วมกันได้ เพื่อเป็นฐานข้อมูลเมืองรองรับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะในอนาคต ภายใต้กิจกรรมก่อสร้าง และบำรุงรักษาจากแนวคิด BIM ที่เกิดจากคำสองคำ คือ Information (ข้อมูล) กับ Modeling (แบบจำลอง) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเป็นการเสนอระเบียบวิธีพัฒนา ทั้งส่วนข้อมูล และส่วนแบบจำลอง

3.2 พัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน

พัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน ตามระเบียบวิธีกำหนดไว้ ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก เพื่อทดสอบว่า ระเบียบวิธีดังกล่าวสามารถพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศวัตถุใต้ดินได้จริงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหรือไม่ สามารถเชื่อมต่อ และสนับสนุนการทำงานร่วมกับ UIM ได้หรือไม่ บนแพลตฟอร์มของ Bentley® System ภายใต้ใบอนุญาตมหาวิทยาลัยนครสวรรค์

3.2.1 พัฒนา Catalog Items & Catalog Type

เนื่องจากงานวิจัยนี้ขยายแนวคิดแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทำให้วัตถุบางชนิดไม่เข้าหมวดหมู่ฐานข้อมูล ทำให้ต้องพัฒนา Catalog Items และ Catalog Type เพิ่มเติม โดยเพิ่มหมวดการทำงาน “Underground” ใน Catalog Items และเพิ่มกลุ่มวัตถุ ได้แก่ Manhole, Piping และ Conduit pipe ใน Catalog Type พร้อมพัฒนาไฟล์ชุดคำสั่งประมวลผล (Schedule) ของแต่ละกลุ่มวัตถุ ด้วยการแก้ไข Coding Script เพื่อจัดเก็บข้อมูลวัตถุ และใช้ประมวลผลลัพธ์ให้กับวัตถุที่จะพัฒนาขึ้น

3.2.2 พัฒนาข้อมูลกราฟิก

พัฒนาชิ้นงานแบบ Object (ทีละวัตถุ) จากแบบก่อสร้างจริง (2D CAD: .dwg, .dgn, .dxf), Shape file (.shp), ข้อมูลชั้นดิน, คุณสมบัติวัสดุ ฯลฯ ร่วมกับการลงพื้นที่สำรวจ ที่ระดับพัฒนา 350 (LOD 350 - ระดับก่อสร้าง) ขึ้นไป ประกอบด้วย

ประปาท่อระบายน้ำเสีย ท่อระบายน้ำฝนบนทางเท้า ท่อระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อพักน้ำ และท่อสายไฟสายสื่อสารใต้ดิน กำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์โลก (Global Coordinate) ใช้ EPSG : 32647 WGS84/UTM Zone 47N ตามพิกัดสิ่งปลูกสร้างจริง โดยกำหนด Family & Part ให้ตรงกับหมวดหมู่วัตถุใน Catalog Items และ Catalog Type ที่พัฒนาไว้ จัดเก็บไฟล์งานในรูปแบบนามสกุล .dgn (นามสกุล Bentley® Platform)

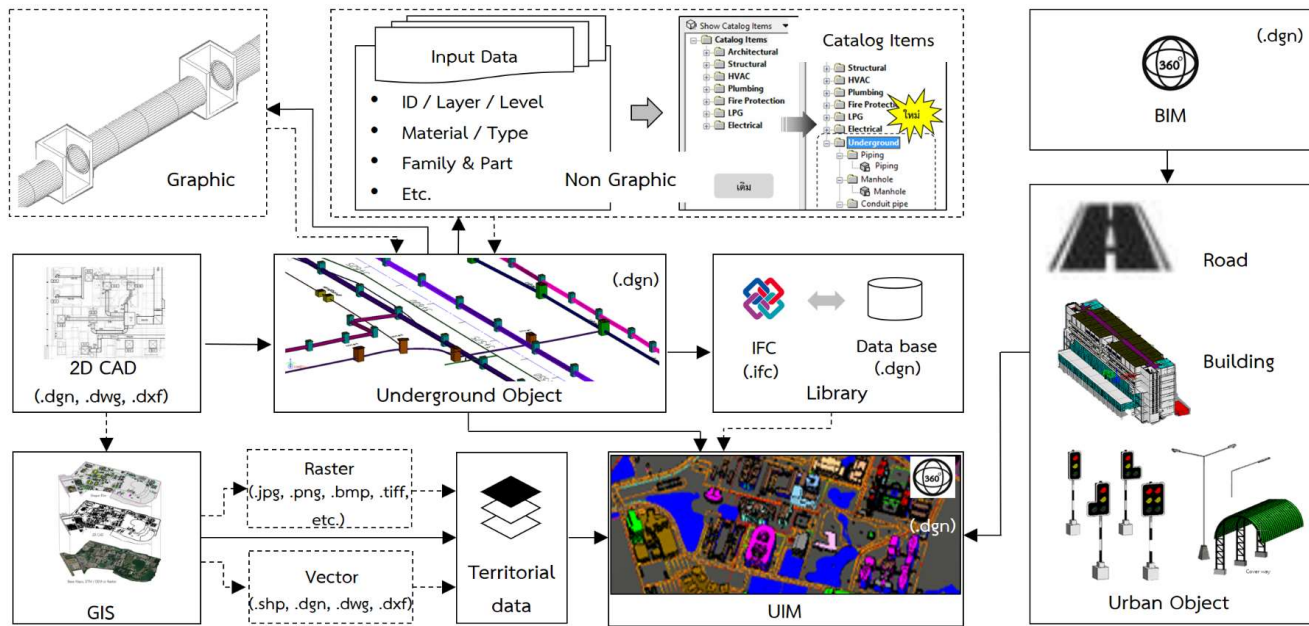
3.2.3 พัฒนาข้อมูลไม่กราฟิก

ข้อมูลไม่กราฟิก แบ่งเป็นสองลักษณะ คือ 1) ข้อมูลปฐมภูมิ เช่น รหัสวัตถุ, ค่าทางเรขาคณิต, คุณสมบัติ และกลสมบัติวัสดุ, Family & Part, ที่ตั้ง พิกัด ในส่วนนี้จะผูกติดมากับวัตถุ (กราฟิก) หากมีการแก้ไขข้อมูลกราฟิกของวัตถุ ข้อมูลจะถูกเปลี่ยนตาม ตามหลักการ BIM และ 2) ข้อมูลทุติยภูมิ หมายถึง ข้อมูลที่นำเข้าภายหลัง ได้แก่ หน่วยงานดูแล, ประวัติการก่อสร้าง และบำรุงรักษา, เอกสาร และข้อมูลตามภารกิจอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถระบุลงบนชิ้นส่วนของวัตถุได้ แสดงอยู่ในรูปแอตทริบิวต์ ยกเว้นข้อมูลภายนอกที่เป็นลักษณะเอกสาร ไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ใช้วิธีแนบไฟล์ให้เชื่อมโยงระหว่างวัตถุกับแฟ้มข้อมูลภายนอก ซึ่งสามารถแก้ไขเพิ่มเติมได้ภายหลัง โดยมีต้องแก้ไขวัตถุแต่อย่างใด

3.2.4 บุคลากรแบบจำลอง

ใช้ร่วมกับข้อมูลจาก GIS โดยนำเข้าผังบริเวณพื้นที่ศึกษา (.shp) ซึ่งเป็นข้อมูล Vector ตามค่าพิกัดโลก เพื่อใช้เป็นแผนที่ฐานร่วมกับแผนที่แบบ Raster (.jpg, .png, .bmp, .tiff) และแผนที่จากผู้ให้บริการ เช่น Google Map จากนั้นนำเข้าแบบจำลองสารสนเทศอื่นที่มีอยู่เดิม เช่น แบบจำลองอาคาร ถนน ไฟฟ้าส่องสว่าง ป้ายจราจร ที่มีรูปแบบนามสกุล .dng และ .ifc ใช้วิธีอ้างอิงไฟล์ และเคลื่อนย้ายเข้าจุดตามพิกัดจริง ทั้งนี้เพื่อลดการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ โดยไฟล์ที่ถูกอ้างอิงต้องอยู่ในแฟ้ม (Folder และ Sub-folder) บนไดเรกทอรีเดียวกันทั้งหมด

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน และบุคลากร สรุปได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน และบูรณาการ UIM

3.3 ทดลองใช้งาน

ทดลองใช้งานภายใต้กิจกรรมก่อสร้าง บำรุงรักษา และจัดการทรัพยากรกายภาพระบบส่งจ่ายน้ำประปา และท่อระบายน้ำใต้ดินในพื้นที่กรณีศึกษา จากผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกร สถาปนิก ช่างเขียนแบบ เจ้าหน้าที่บริหารทั่วไป และหัวหน้าส่วนงาน รวม 11 คน (จาก 12 คน) โดยเก็บผลประเมินผลในประเด็น ได้แก่ 1) ความเหมาะสมของระดับการพัฒนาข้อมูลกราฟิก และประเภทแบบจำลอง 2) ความเหมาะสมของระดับการพัฒนาข้อมูลไม่กราฟิก 3) การเข้าถึงข้อมูล: การค้นหา และเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นได้ง่ายหรือไม่ 4) มุมมอง และการแสดงผลใช้งาน: ผู้ใช้สามารถเข้าถึง และใช้ข้อมูลต่าง ๆ ได้หรือไม่ 5) การแก้ไข และเชื่อมโยงข้อมูล: การแก้ไขข้อมูลทำได้ง่ายหรือไม่ และข้อมูลที่แก้ไขเปลี่ยนไปตามที่ต้องการในทุกมิติหรือไม่ เชื่อมโยงกันหรือไม่ สามารถตรวจสอบ และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลได้หรือไม่ และ 6) การบูรณาการข้อมูล: ง่ายต่อการแยก และนำข้อมูลจากแบบจำลองไปใช้ต่อยังแพลตฟอร์มอื่น เช่น Microsoft Excel

จากนั้นเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงาน ซึ่งส่งผลถึงผลิตภาพแรงงานระหว่างวิธีการทำงานแบบดั้งเดิม (ระบบสองมิติ เน้นรูปแบบเอกสารแบบสำเนาสิ่งพิมพ์) กับวิธีแบบจำลอง

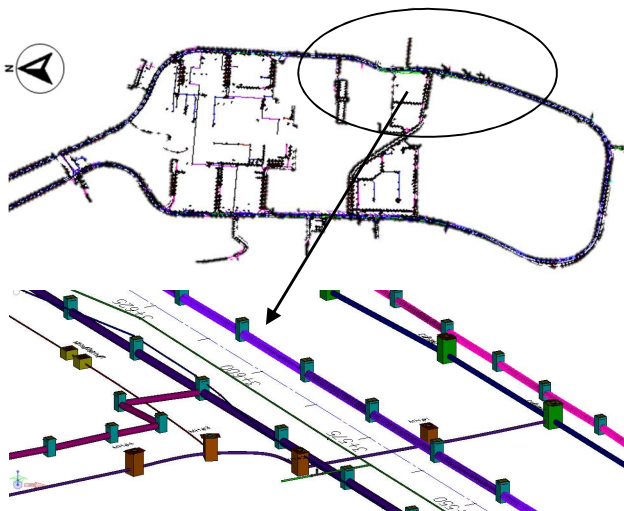
สารสนเทศอาคาร ในกิจกรรมก่อสร้าง และการจัดการทรัพยากรกายภาพงานวัตถุใต้ดิน

4. ผลการวิจัย

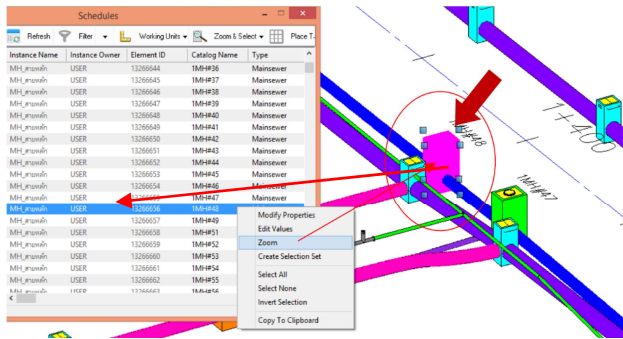
ผลการวิจัยแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ดังนี้

4.1 ผลพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน และการบูรณาการ

จากการทดลองพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน ตามกรอบแนวคิดระเบียบวิธีวิจัยที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 2) ผลลัพธ์ปรากฏว่าแบบจำลองวัตถุใต้ดินที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิกได้ (รูปที่ 4 และรูปที่ 5) ประกอบด้วยท่อระบายน้ำเสีย และบ่อพักน้ำเสีย แบ่งเป็นสายหลัก (สีน้ำเงิน) สายรอง (สีม่วง) สายย่อย (สีแดง) และบ่อพักน้ำฝน (สีฟ้า) ส่วนใหญ่อยู่เรียงกันตามแนวถนนรอบพื้นที่กรณีศึกษา และเมื่อทดลองใช้ชุดคำสั่ง Schedule เพื่อเข้าดู และประมวลผลรายละเอียดแต่ละวัตถุ ปรากฏว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดง และให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการได้ (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 แบบจำลองวัตถุใต้ดินแสดงข้อมูลกราฟิก



รูปที่ 5 แบบจำลองวัตถุใต้ดินแสดงข้อมูลไม่กราฟิก จากการประมวลผลแบบจำลองด้วยชุดคำสั่ง Schedule ของซอฟต์แวร์

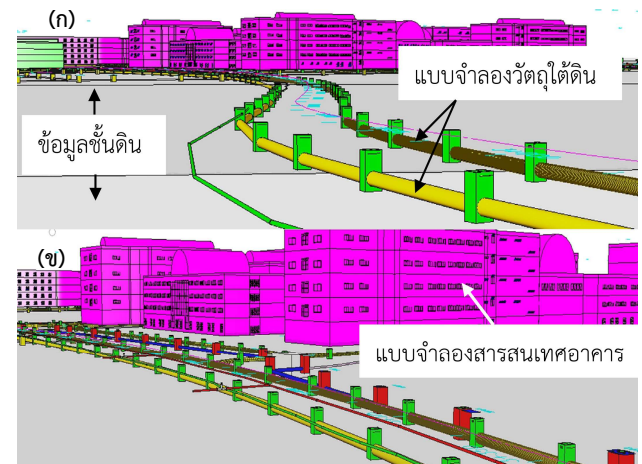
จากรูปที่ 5 เนื้อหาผลลัพธ์สรุป ดังนี้

ท่อระบายน้ำเสียสายหลัก (สีน้ำเงิน); เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 เมตร วัสดุ HDPE บ่อพักน้ำเสีย (สีเขียวอ่อน) ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง x หนา) 1.35 x 1.75 x 1.90 x 0.18 เมตร จำนวน 164 บ่อ

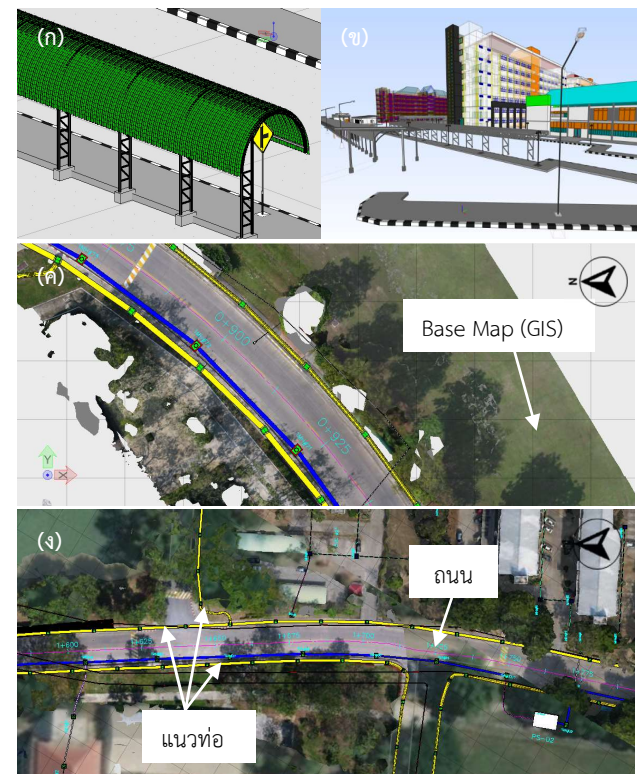
ท่อระบายน้ำเสียสายรอง (สีม่วง); เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร วัสดุ HDPE บ่อพักน้ำเสีย (สีส้ม) ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง x หนา) 1.35 x 1.55 x 1.25 x 0.18 เมตร จำนวน 227 บ่อ

ท่อระบายน้ำเสียสายย่อย (สีแดง); เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร วัสดุ PVC บ่อพักน้ำเสีย (สีเหลือง) ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง x หนา) 1.35 x 1.55 x 0.80 x 0.18 เมตร จำนวน 126 บ่อ และมีบ่อพักน้ำฝน (สีฟ้า) จำนวน 1,478 บ่อ

และเมื่อนำไปบูรณาการกับ UIM ที่มีอยู่เดิม เช่น แบบจำลองอาคาร ถนน ไฟฟ้าส่องสว่าง ป้ายจราจร วัตถุเมืองอื่น ๆ ข้อมูลชั้นดิน รวมถึงข้อมูลทาง GIS ปรากฏว่า บูรณาการร่วมกันได้ (รูปที่ 6 และ รูปที่ 7) โดยต้องมีจุดพิกัด หรือจุดอ้างอิงที่เป็นระบบเดียวกัน มิเช่นนั้นแล้วแบบจำลองจะเกิดความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลบูรณาการแบบจำลองวัตถุใต้ดิน ข้อมูลชั้นดินร่วมกับ UIM



รูปที่ 7 (ก, ข) ตัวอย่างผลบูรณาการร่วมกับ UIM และ (ค, ง) ตัวอย่างผลบูรณาการแบบจำลองสารสนเทศร่วมกับข้อมูล GIS

4.2 ผลการทดลองใช้งาน

จากการทดลองใช้แบบจำลองฯในกระบวนการก่อสร้างโดยกลุ่มเป้าหมาย เมื่อติดตาม ประเมินผล สัมภาษณ์ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองฯ ผลสรุปดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 ตัวอย่างเปรียบเทียบรูปก่อสร้างจริง (ก) และแบบจำลองสารสนเทศวัตถุได้ดิน (ข) โครงการกรณีศึกษา

จากรูปที่ 8 แสดงตัวอย่างแบบจำลองสารสนเทศวัตถุได้ดินที่พัฒนาไว้ในขั้นตอนการวางแผนงาน กับการก่อสร้างจริง โครงการก่อสร้างท่อระบายน้ำพร้อมบ่อพักน้ำใต้ดินใหม่ เชื่อมต่อกับระบบเดิมที่มีอยู่แห่งหนึ่งในกรณี ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ตามที่ต้องการได้ และมีประสิทธิภาพดีมาก ส่งผลให้การติดตาม และวางแผนก่อสร้าง มีความสะดวกขึ้น

และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ด้านระยะเวลาที่ใช้ปฏิบัติงาน (เฉพาะที่มีผลิตภาพแรงงานเท่านั้น ไม่รวมถึงระยะเวลารอคอยพิจารณาผู้บริหาร และข้อพิพาท) ตลอดโครงการที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างท่อระบายน้ำ ได้แก่ ค้นหาแบบแปลน หรือข้อมูลก่อสร้างในอดีต, การสำรวจหน้างาน, ออกแบบ, เขียนแบบ, ตรวจสอบพื้นที่ก่อสร้างจริง, ประมาณราคา, กำหนดสัญญา และแผนการดำเนินงาน, จัดซื้อจัดจ้าง, ประชุมชี้แจงงานผู้รับจ้าง, วางแผนงานเตรียมก่อสร้าง, ควบคุมงาน (กรณีแบบก่อสร้างไม่สามารถก่อสร้างได้ ต้องมีการปรับแก้แบบ จัดทำงานเพิ่ม งานลด), ตรวจรับงาน, ตรวจสอบแบบหลังก่อสร้าง, การจัดเก็บเอกสาร และบันทึกประวัติการก่อสร้าง

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมิน และข้อความเห็น จากการใช้งานแบบจำลองวัตถุได้ดิน

ประเด็นการประเมินผล	ผลการประเมิน / ข้อความเห็น
1) ความเหมาะสมของระดับการพัฒนาข้อมูลกราฟิกและประเภทแบบจำลอง	○ LOD350 ขึ้นไป มีความเหมาะสม หากต่ำกว่านี้จะไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ใช้งานมีสถานะเป็นเจ้าของโครงการ เน้นการใช้งานช่วงหลังก่อสร้าง เพื่อการซ่อมบำรุง ดังนั้นการที่มีข้อมูลที่ละเอียดมากเท่าไร ยิ่งดี แนะนำระดับ As Built (LOD500) ○ การพัฒนาด้วย BIM ถือว่ามีความเหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะเป็นงานวัตถุได้ดินส่วนใหญ่เป็นงานท่อ การใช้ BIM ที่เป็นลักษณะชิ้นส่วนอัจฉริยะพัฒนา จะเป็นการเตรียมการนำไปจำลองสถานการณ์ เช่น การจำลองการไหล การระบายน้ำ ฯลฯ ในอนาคต
2) ความเหมาะสมของระดับการพัฒนาข้อมูลไม่กราฟิก	○ เหมาะสม เนื่องจากกรณีศึกษานี้เป็นสิ่งก่อสร้างที่ผู้ให้ความเห็น ควบคุมกำกับดูแลเอง ข้อมูลทุกอย่างจึงสำคัญ แต่หากเป็นแบบจำลองที่ต้องการจากหน่วยงานอื่น ควรมีการกำหนดขอบเขต วัตถุประสงค์ (ความต้องการใช้) ร่วมกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
3) การเข้าถึงข้อมูล และค้นหาข้อมูล	○ ดีมาก
4) มุมมอง และแสดงผล	○ ดีมาก
5) การแก้ไขข้อมูล และเชื่อมโยงข้อมูลในแต่ละมิติ	○ ดีมาก
6) การบูรณาการข้อมูลกับแพลตฟอร์มอื่น	○ ดี (ยังมีความซับซ้อน ต้องใช้ทักษะและความชำนาญเฉพาะด้านเป็นอย่างมาก)

ผลเปรียบเทียบ (ตารางที่ 2) เห็นได้ว่าการทำงานด้วยวิธีแบบจำลองสารสนเทศ ช่วยลดระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยจากเดิมใช้ 103 วัน เหลือ 76.5 วัน คิดเป็นร้อยละ 28.73 โดยเพิ่มผลิตภาพแรงงานได้ เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.34 ต่อคน ต่อหนึ่งโครงการ ตามลำดับ

ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญของผู้ใช้งานแบบจำลองทักษะคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ ความเข้าใจระหว่างทีมงานผู้ใช้กับผู้พัฒนาแบบจำลอง และลักษณะโครงการก่อสร้างด้วย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ปฏิบัติงาน ระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีแบบจำลองฯ เฉลี่ยต่อคน ต่อโครงการ

	ระยะเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย (วัน)	ร้อยละผลิตภาพแรงงาน
วิธีดั้งเดิม	103	0.97
วิธีแบบจำลองฯ	76.5	1.31
เปรียบเทียบ	-26.5	+0.34

นอกจากนี้ ผู้ใช้งานให้ความเห็นเพิ่มเติมอีกว่า การทำงานด้วยวิธีแบบจำลองสารสนเทศ มีจุดเด่นที่ตอบโจทย์การทำงาน คือ การค้นหาวัตถุ และข้อมูลในวัตถุ ที่วิธีดั้งเดิมใช้แรงงานคนค่อย ๆ หาจากพิมพ์เขียว แต่หากเป็นวิธีแบบจำลองสามารถค้นหา และได้ผลลัพธ์ทันที โดยเฉพาะวัตถุที่มีลักษณะซ้ำ ๆ ปริมาณมาก เช่น บ่อพักน้ำ ท่อ เป็นต้น รวมถึงการจัดทำประวัติสิ่งปลูกสร้าง กำหนดตำแหน่งชุดเจาะ หาปริมาณงานตรวจสอบค่าระดับ จุดเชื่อมต่อ และทิศทางการไหลของน้ำ ที่ให้ผลลัพธ์เสมือนจริง สามารถส่งออกข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์อื่น เช่น Microsoft Excel เพื่อทำงานต่อได้ แม้ต้องมีการตั้งค่าการส่งออกหลายขั้นตอน

5. สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีการพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน สำหรับพัฒนาเป็น UIM โดยขยายแนวคิด BIM ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก เพื่อให้เป็นเครื่องมือช่วยการทำงานด้านวิศวกรรม ก่อสร้าง บำรุงรักษา และการจัดการทรัพยากรกายภาพวัตถุใต้ดิน นำไปสู่การบริหารจัดการเมืองอัจฉริยะแบบ Digital Twin ต่อไป สรุปดังนี้

1) การพัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน เพื่อพัฒนาเป็น UIM โดยขยายแนวคิด BIM ข้อมูลกราฟิกต้องพัฒนาให้ใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด ระดับการพัฒนาใช้ระดับก่อสร้างขึ้นไป (LOD 350+) เป็นระดับเริ่มต้นที่ยอมรับได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่อได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากเป็นไปได้ควรพัฒนาที่ระดับการพัฒนาสูง ๆ เช่น ระดับ As Built (LOD500) ซึ่งถือว่าเป็นระดับการพัฒนาให้เจ้าของงาน

2) ข้อมูลไม่กราฟิก ที่จำเป็นในฐานะเจ้าของงาน และต้องการให้ปรากฏในแบบจำลอง ได้แก่ 1) ข้อมูลปฐมภูมิ เช่น รหัสวัตถุ, ค่าทางเรขาคณิต, คุณสมบัติ และคุณสมบัติวัสดุ, Family & Part, ที่ตั้ง พิกัด ในส่วนนี้จะผูกติดมากับวัตถุ (กราฟิก) และ 2) ข้อมูลทุติยภูมิที่นำเข้าภายหลัง เช่น หน่วยงานดูแล, ประวัติการก่อสร้าง และบำรุงรักษา, เอกสาร และข้อมูลตามภารกิจอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมให้เป็นหมวดหมู่ แล้วบันทึกลงไปในชิ้นส่วนแบบจำลอง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

3) การพัฒนาต้องมีเป้าหมายมุ่งเน้นความเป็นอัจฉริยะให้มากที่สุดทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก เพื่อการนำแบบจำลองไปใช้ต่อ เช่น การจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น การไหล การระบายน้ำ วิธีการก่อสร้าง รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เป็นต้น และแบบจำลองจะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับงานวิศวกรรม ก่อสร้าง บำรุงรักษา และการจัดการวัตถุใต้ดินได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลมีความถูกต้อง ทั้งข้อมูลกราฟิก และไม่กราฟิก ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ และผู้ใช้งานต้องยอมรับ และเข้าใจเงื่อนไขหรือความคลาดเคลื่อนนั้น

4) ระเบียบวิธีวิจัยที่นำเสนอ ใช้พัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดินได้ และสามารถบูรณาการกับ UIM ที่มีอยู่เดิมได้ จากการทดลองใช้งานในกรณีศึกษา ปรากฏว่า การเข้าถึงข้อมูล การค้นหาข้อมูลวัตถุ การแสดงผล และมุมมองการแสดงผล การแก้ไขข้อมูล และการเชื่อมโยงกันของข้อมูลในทุก ๆ มิติ อยู่ในระดับดีมาก ช่วยทำให้ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลลงได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ข้อมูลมีความเป็นระเบียบ และปัจจุบัน สะดวกและพร้อมใช้งานมากขึ้น

สำหรับการบูรณาการข้อมูล เช่น การนำแบบจำลองไปใช้ต่ออย่างแพลตฟอร์มอื่น หรือการส่งออกผลลัพธ์ไปวิเคราะห์ต่ออย่างแพลตฟอร์มอื่น เช่น Microsoft Excel ยังมีความซับซ้อน

หลายขั้นตอน บางครั้งเกิดความผิดพลาด (Error) ต้องเสียเวลาแก้ไข ดังนั้น ผู้ใช้งานแบบจำลอง ต้องมีทักษะด้านคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ และ BIM ขั้นสูงจึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

5) เมื่อนำระเบียบวิธีวิจัยที่นำเสนอใช้พัฒนาแบบจำลองวัตถุใต้ดิน และบูรณาการร่วมกับ UIM ที่มีอยู่เดิม มาทดลองใช้ในกระบวนการก่อสร้างตามภารกิจเจ้าของงาน การทำงานด้วยวิธีแบบจำลองสารสนเทศ ช่วยลดระยะเวลาปฏิบัติงาน และเพิ่มผลิตภาพแรงงานจากเดิมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานด้วยวิธีดั้งเดิมที่ใช้กระบวนการสองมิติ และ Hard Copy ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญของผู้ใช้งานแบบจำลอง ทักษะทางคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ ความเข้าใจระหว่างทีมงานผู้ใช้กับผู้พัฒนาแบบจำลอง และลักษณะโครงการกรณีศึกษาด้วย

อย่างไรก็ตาม แนวคิดระเบียบวิธีวิจัยที่การวิจัยนี้แนะนำ ไม่จำเป็นต้องใช้กับเมือง หรือชุมชนเท่านั้น หากแต่สามารถประยุกต์ใช้กับโครงการบ้านจัดสรร สถานศึกษา รีสอร์ท ค่ายทหาร สถานที่ราชการ หรือโครงการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ต่างๆ ทั้งส่วนโครงสร้างใต้ดิน บนดินได้ และในอนาคตอาจทดลองพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การสำรวจด้วย 3D Laser Scanner หรือ LiDAR เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ระบบ Sensor การทำงานบนคลาวด์ หรืออื่น ๆ เพื่อให้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ตอบโจทย์ความท้าทาย หรือความต้องการใช้ใหม่ ๆ โดยเฉพาะในยุค Digital Twin และการพัฒนาแบบจำลองที่ดี ควรร่วมมือจากทุกภาคส่วน ทั้งด้านการกำหนดนโยบาย ขอบเขต วัตถุประสงค์ (ความต้องการใช้) รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่บุคลากร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอาคาร สิ่งปลูกสร้าง และให้ความอนุเคราะห์ทดลองใช้งานแบบจำลองฯ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา และหน่วยวิจัยวิศวกรรม และการจัดการด้านระบบสารสนเทศ โภคเชิงบูรณาการ (iFEM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. World Urbanization Prospects 2018. Available from: [https://population.un.org/wup/Publications/File s/WUP2018- Report.pdf](https://population.un.org/wup/Publications/File%2Fs/WUP2018-Report.pdf) [Accessed 14th August 2023].
- [2] Kaewpoonsuk P. *Development of Urban Information Modeling for Facility Management Based on Civil Engineering Works*. [Ph. D. Dissertation in Civil Engineering]. Phitsanulok: The Graduate School, Naresuan University; 2023.
- [3] Hou W, Yang L, Deng D, Ye J, Clarke K, Yang Z, et al. Assessing quality of urban underground spaces by coupling 3D geological models: The case study of Foshan city, South China. *Computers & Geosciences*. 2016;89:1-11.
- [4] Marache A, Dubost J, Breyse D, Denis A, Dominique S. Understanding subsurface geological and geotechnical complexity at various scales in urban soils using a 3D model. *Georisk*. 2009;3(4):192-205.
- [5] Royse K, Rutter H, Entwisle D. Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: new ways of visualising geoscientific information. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2009;68:1-16.
- [6] Chapman D, Providakis S, Rogers C. BIM for the Underground – An enabler of trenchless construction. *Underground Space*. 2020;5(4):354-61.
- [7] Rienzo DF, Oreste P, Pelizza S. Subsurface geological- geotechnical modelling to sustain underground civil planning. *Engineering Geology*. 2008;96(3-4):187-204.
- [8] Dong M, Neukum C, Hu H, Azzam R. Real 3D geotechnical modeling in engineering geology: a case study from the inner city of Aachen,

- Germany. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2015;74:281-300.
- [9] Scholtenhuis OLL, Hartmann T, Dorée AG. 4D CAD based method for supporting coordination of urban subsurface utility projects. *Automation in Construction*. 2016;62:66-77.
- [10] Provdakis S, Rogers CD, Chapman DN. Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019;92:103049.
- [11] Stefanova M, Natchev D. Digitization of the construction industry. Engineering organizations in support of european initiatives, BIM standardization and accelerating BIM adoption. In: Executive Board 2018 – 2021 of European Council of Civil Engineers: *Proceeding of the World World Construction Forum 2019 - Buildings and Infrastructure Resilience, 8 - 11 April 2019, Ljubljana, Slovenia*. Available from: https://uceb.eu/DATA/uceb/WCF_2019_public.pdf [Accessed 27th May 2023].
- [12] Kessler H, Turner KA, Culshaw GM, Royse RK. Unlocking the potential of digital 3D geological subsurface models for geotechnical engineers. In: *European econference of the International Association for Engineering Geology*, Madrid, Spain, 15–20 Sept 2008. Available from: https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/3817/1/EUROENGEO_2008_Kessler_et_al.pdf [Accessed 28th May 2023].
- [13] Staveren VMT. Extending to geotechnical risk management. *Georisk*. 2009;3(3):174-183.
- [14] Qinglin Q, Fei T. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*. 2018;6:3585-3593.
- [15] Tomko M, Winter S. Beyond digital twins – A commentary. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2018;46(2):395-9.
- [16] Haag S, Anderl R. Digital twin – Proof of concept. *Manufacturing Letters*. 2018;15:64-6.
- [17] Rafael S, Charles E, Ghang L, Paul T. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 3rd Edition*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2018.
- [18] Bentley Advancing Infrastructure. H2PORTO Technological Platform for the Integrated Management of Porto's Urban Water Cycle Porto, Porto, Portugal. Available from: <https://fr.bentley.com/wp-content/uploads/CS-H2Porto-LTR-EN-LR.pdf> [Accessed 7th June 2023].
- [19] ประกาศเรื่อง ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561 ถึง 2580). *ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 135 ตอนที่ 82 ก* (ลงวันที่ 13 ตุลาคม 2561).
- [20] ประกาศเรื่อง แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564). *ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 133 ตอนที่ 115 ก* (ลงวันที่ 30 ธันวาคม 2559).
- [21] สมลักษณ์ บุญณรงค์, นงลักษณ์ ปาสองห้อง, เทพรัตน์ สะเกาทอง. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อบริหารงานก่อสร้าง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 2554; 21(1).
- [22] Metje N, Ahmad B. *Causes, impacts and costs of strikes on buried utility assets*. In: Matthew L.: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. London: Thomas Telford Ltd; 2015;168(3):165-174.
- [23] Metje N, Atkins PR, Brennan MJ, Chapman DN, Lim HM, Machell J, et al. Mapping the Underworld – State-of-the-art review. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2007;22(5):568-86.
- [24] Meschke G. From advance exploration to real time steering of TBMs: A review on pertinent research in the Collaborative Research Center:

Interaction Modeling in Mechanized Tunneling.

Underground Space. 2018;3(1):1-20.

- [25] Rogers CDF, Hao T, Costello SB, Burrow MPN, Metje N, Chapman DN, et al. Condition assessment of the surface and buried infrastructure – A proposal for integration. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2012;28:202-11.