แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจรในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ: กรณีศึกษาแยกต่างระดับนครราชสีมา

4D CAD Model for Safety Management and Traffic Impact Reduction in Road Maintenance Project at the Interchange: Case Study of the Nakhon Ratchasima Interchange

วิชยา ริงคะนานนท์[1] วชรภูมิ เบญจโอฬาร[2]*
[1]สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
Whichaya Ringkananont [1] Vacharapoom Benjaoran[2]*
[1]Construction and Infrastructure Management, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000
[2]School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000
*Corresponding author Email: vacharapoom@sut.ac.th
(Received: January 22, 2020; Accepted: August 10, 2020)

บทคัดย่อ

โครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับมีการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อนมากกว่าการซ่อมบำรุงถนนทั่วไป เนื่องจากพื้นที่โครงการมีความต่างระดับทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ทำงานของเครื่องจักร และมีกระแสจราจรสัญจรผ่านพื้นที่ จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงานและเกิดผลกระทบต่อการจราจร การศึกษานี้จึงสร้าง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา และสามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง เพื่อกำหนดมาตรการจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจรอย่างเหมาะสมในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ ซึ่งพบว่า 4D CAD ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุง ที่เกิดจากการใช้พื้นที่ของเครื่องจักรขนาดใหญ่อย่างรถเครนและการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุก ซึ่งทับซ้อนกับการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบและช่องจราจรข้างเคียง รวมถึงช่องจราจรด้านล่างของโครงสร้างของทางแยกต่างระดับ และ 4D CAD แสดงภาพเหตุการณ์ของพื้นที่ก่อสร้างในอนาคตทำให้เห็นความจำเป็นต้องปิดช่องจราจรอื่น ๆ นอกเหนือจากช่องจราจรที่ทำการซ่อมบำรุง ซึ่งผู้วางแผนโครงการสามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบนั้น ๆ ทำให้สามารถปรับแผนการดำเนินงานโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวให้มีความเหมาะสมกับช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ก่อนที่จะเริ่มดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถจัดเตรียมงบประมาณในการดำเนินโครงการได้อย่างเพียงพอในการจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ทำให้บริหารโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แบบจำลอง 4 มิติ การจัดการความปลอดภัย โครงการซ่อมบำรุงถนน ทางแยกต่างระดับ

ABSTRACT

The interchange maintenance projects are more complicated than the general road maintenance since the site area has different elevations and the current traffic flows through the area. Such constraints on the working space create a risk of accidents to workers and the negative impacts on traffic. Therefore, this study created a 4D CAD to visualize the risk of accidents and the impact on traffic at different project times. Also, it can visualize changes in the area at different times according to the maintenance procedures. This tool assists a project manager to determine appropriate safety management measures and reduce traffic impact in road maintenance projects at interchange. The results showed that the 4D CAD is able to demonstrate the risk of accidents and impact on traffic during the maintenance project caused by the use of large types of machinery such as cranes and trucks. Their working spaces overlap with the surrounding land uses, and the lanes adjacent and below the constructing parts of the interchange structure. The project planner can visualize these risks of accidents and impacts. The 4D CAD developed in this study makes it possible to adjust the construction schedule for the maintenance project and to wisely close the lanes affected by the construction at different project time even before starting the project. This also helps to allocate a sufficient budget for safety management and to reduce the impact on current traffic. All results in the effective management of the interchange maintenance project.

Keyword: 4D CAD model, safety management, road maintenance projects, interchange.

1. บทนำ

การดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับมีความซับซ้อนมากกว่าการซ่อมบำรุงถนนทั่วไป เนื่องจากพื้นที่โครงการมีความต่างระดับทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ทำงานของเครื่องจักรประกอบกับมีกระแสจราจรสัญจรผ่านพื้นที่ จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุต่อผู้ปฏิบัติงานและเกิดผลกระทบต่อการจราจรได้หลายกรณี ซึ่งเกิดจากการทับซ้อนกันของพื้นที่ระหว่างรถที่สัญจรผ่านกับพื้นที่ที่เครื่องจักรจำเป็นต้องใช้ในการปฏิบัติงาน ผู้วางแผนโครงการจำเป็นต้องมองเห็นภาพของจุดเสี่ยงและผลกระทบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น จึงจะสามารถวางแผนโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับได้อย่างเหมาะสม ซึ่งอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น CORSIM® VISSIM® หรือ AIMSUN® ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการจราจรที่ได้รับผลกระทบ [1], [2], [3], [4] เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกแผนการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุด แต่โปรแกรมดังกล่าวมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของพื้นที่ก่อสร้างตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงที่เกิดการทับซ้อนกันของพื้นที่ได้ ทำให้ไม่สามารถกำหนดแผนการซ่อมบำรุงและมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมได้ แบบจำลอง 4D CAD จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้กำจัดข้อจำกัดดังกล่าวได้

1.1. 4D CAD

4D CAD หรือ แบบจำลอง 4 มิติ เป็นแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นโดยบูรณาการการสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางวิศวกรรม เข้ากับตารางเวลาการก่อสร้าง [5] โดยที่ผ่านมาโครงการก่อสร้างหลายโครงการได้นำ 4D CAD มาใช้ประโยชน์ในโครงการก่อสร้างและซ่อมบำรุง ทั้งงานอาคาร งานทาง เช่น ใช้ในการจัดตารางเวลาการทำงาน วางแผนบริหารจัดการด้านพื้นที่ [5] การจำลองภาพในขั้นตอนของการออกแบบ ใช้ในการสร้างความเข้าใจที่ตรงกันในการติดต่อสื่อสารในขั้นตอน

ตรวจสอบการออกแบบ รวมถึงใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับเตรียมการเสนอราคาและการจัดซื้อจัดจ้าง [6] ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความก้าวหน้าในระหว่างดำเนินงาน [7] อีกทั้งใช้ในการจัดการระบบในพื้นที่ก่อสร้างก่อสร้าง [8] และวางแผนบริหารจัดการด้านความปลอดภัยของพื้นที่ก่อสร้าง [9], [10], [11] ยังสามารถใช้แสดงภาพผลกระทบจากการก่อสร้างถนนต่อประชาชนตลอดแนวพื้นที่โครงการ [12] การแสดงภาพของโครงการก่อสร้างทางหลวงสายใหม่ในบริเวณที่ตัดผ่านถนนสายเดิมที่มีการจราจรสัญจรผ่านในขณะดำเนินโครงการ [13] เป็นต้น

มีการแสดง 4D ของโครงการก่อสร้างทางหลวง โดยนำ 4D CAD มาใช้งานของการสร้างภาพเสมือนจริงที่แปรผันตามตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการก่อสร้างทางต่างระดับในออสเตรเลีย ในช่วงที่กำลังทำการดำเนินการก่อสร้างโครงการทางหลวงเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกันของทีมงาน และช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการก่อสร้าง การจัดตารางเวลา และการวางแผนการจราจร โดยใช้ข้อมูลการแสดงผลในส่วนของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ดำเนินงานในโครงการมาสร้างความเข้าใจของทีมงานในขั้นตอนของการออกแบบให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการจัดผังโครงสร้างกิจกรรมและตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการ และใช้การแสดงผลในส่วนของการจำลองภาพเคลื่อนไหวของการจราจรที่เดินทางผ่านโครงการระหว่างที่มีการดำเนินโครงการ มาใช้ในการประชาสัมพันธ์สร้างความเข้าใจที่ตรงกันในมาตรการความปลอดภัยและลักษณะการจัดการจราจรให้กับประชาชนทั่วไป [5]

การใช้ 4D CAD เพื่อสนับสนุนการประสานงานในกิจกรรมการก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมา ในโครงการปรับปรุงสถานีรถไฟในประเทศเนเธอร์แลนด์ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นให้สามารถรองรับผู้โดยสาร 40,000 คนต่อวันและขณะที่ดำเนินโครงการ สถานีจะต้องสามารถเปิดให้บริการตามปกติ ซึ่งมีผู้รับเหมาหลักที่รับผิดชอบประสานงานกับผู้รับเหมาภายนอกอีก 4 บริษัท ให้เข้ามารับเหมาก่อสร้างทั้งการติดตั้งและการรื้อถอนในส่วนของงานโครงสร้างเหล็ก งานกระจกและการติดตั้งผ้าม่าน ผนัง ไฟฟ้าและเครื่องกล จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนกิจกรรมการก่อสร้างจำนวนมาก ที่จะต้องมีความสอดคล้องกับตารางเวลาเดินรถไฟและเงื่อนไขต่าง ๆ ในสถานที่ดำเนินโครงการ รวมถึงข้อจำกัดของสถานที่ สำหรับพื้นที่วางเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ เริ่มต้นสร้างแบบจำลอง 4 มิติด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ในสถานที่ที่จะต้องดำเนินโครงการ สำหรับใช้ในการออกแบบรูปแบบ 2 มิติจากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ แล้วแปลงข้อมูลเหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้ AutoCAD 2010 จากนั้นรวบรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างเหล่านี้เข้าด้วยกันโดยการใช้แบบจำลอง 3 มิติของ Autodesk Navisworks Manage 2010 ใช้ฟังก์ชั่นการจัดเวลาของซอฟต์แวร์ Navisworks Authorwas [9]

การใช้ 4D CAD เพื่อจะแสดงผลกระทบจากการก่อสร้างทางหลวงที่ส่งผลต่อพื้นที่และประชาชนโดยรอบโครงการขยายทางหลวงดัตช์ โดยพัฒนาวิธีการสร้าง 4D CAD ให้สามารถแสดงผลกระทบต่อบริบทของโครงการพบว่าพื้นที่โครงการก่อสร้างแปรผันตามระยะเวลาในการดำเนินโครงการ การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างวิธีการแบบ 2 มิติ กับแบบจำลอง 4 มิติ ซึ่งแบบจำลอง 4 มิติ สามารถแสดงผลของพื้นที่ขอบเขตของผลกระทบที่แตกต่างกันของงานก่อสร้าง โดยแสดงผลการใช้พื้นที่ให้เห็นภาพขอบเขตของผลกระทบจากเสียง ในบริเวณพื้นที่โดยรอบ แสดงผลของอาคารที่ได้รับผลกระทบในพื้นที่ แสดงผลบางส่วนของโครงข่ายที่ได้รับผลกระทบจากการจราจร จากนั้นวิเคราะห์แบบจำลองว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการตามตารางเวลาทำงานนั้นจะเกิดในลักษณะใดบ้าง และมีความรุนแรงเท่าใด แล้วหาวิธีการป้องกันหรือแก้ไขที่มีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งเป็นการนำ 4D CAD ไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการให้ข้อมูลเพื่อคาดการณ์ผลกระทบสำหรับการเสนอราคา และสร้างความเข้าใจที่ตรงกันกับบุคคลทั่วไปในการทำประชาพิจารณา [10]

การนำ 4D CAD มาประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคในลักษณะเทคโนโลยีการแสดงภาพ

4 มิติสำหรับการจัดการความปลอดภัยในการก่อสร้างโครงการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน Wuhan Mingdu ในประเทศจีน โดยเสนอแนวทางในการบริหารจัดการความปลอดภัย ด้วยการใช้เทคโนโลยีการสร้างภาพ 4 มิติจากการบูรณาการมาตรการความปลอดภัยกับการจัดการการก่อสร้างตลอดการดำเนินโครงการ จากการสร้าง 4D CAD ของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยโปรแกรม AutoDesk Revit® และ Navisworks® และขั้นตอนสุดท้ายพัฒนาการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง 4D CAD และข้อมูลความเสี่ยงของโครงการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน Wuhan Mingdu ในการก่อสร้างจริง [11]

การใช้ 4D CAD เพื่อจะแสดงผลกระทบจากการก่อสร้างทางหลวงที่ส่งผลต่อพื้นที่และประชาชนโดยรอบโครงการขยายทางหลวงดัตช์ โดยพัฒนาวิธีการสร้าง 4D CAD ให้สามารถแสดงผลกระทบต่อบริบทของโครงการ พบว่าพื้นที่โครงการก่อสร้างแปรผันตามระยะเวลาในการดำเนินโครงการ การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างวิธีการแบบ 2 มิติ กับแบบจำลอง 4 มิติ ซึ่งแบบจำลอง 4 มิติ สามารถแสดงผลของพื้นที่ขอบเขตของผลกระทบที่แตกต่างกันของงานก่อสร้าง โดยแสดงผลการใช้พื้นที่ให้เห็นภาพขอบเขตของผลกระทบจากเสียง ในบริเวณพื้นที่โดยรอบ แสดงผลของอาคารที่ได้รับผลกระทบในพื้นที่ แสดงผลบางส่วนของโครงข่ายที่ได้รับผลกระทบจากการจราจร จากนั้นวิเคราะห์แบบจำลองว่าผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการตามตารางเวลาทำงานนั้นจะเกิดในลักษณะใดบ้าง และมีความรุนแรงเท่าใด แล้วหาวิธีการป้องกันหรือแก้ไขที่มีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งเป็นการนำ 4D CAD ไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการให้ข้อมูลเพื่อคาดการณ์ผลกระทบสำหรับการเสนอราคา และสร้างความเข้าใจที่ตรงกันกับบุคคลทั่วไปในการทำประชาพิจารณา [12]

มีการแสดง 4D ของโครงการก่อสร้างทางหลวง โดยนำ 4D CAD มาใช้ในการสร้างภาพเสมือนจริงที่แปรผันตามตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการก่อสร้างทางต่างระดับในออสเตเลีย ในช่วงที่กำลังดำเนินการก่อสร้างโครงการทางหลวงเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานร่วมกันของทีมงาน และช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการก่อสร้าง การจัดตารางเวลา และการวางแผนการจราจร โดยใช้ข้อมูลการแสดงผลในส่วนของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ดำเนินงานในโครงการมาสร้างความเข้าใจของทีมงานในขั้นตอนของการออกแบบให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการจัดผังโครงสร้างกิจกรรมและตารางเวลาปฏิบัติงานของโครงการ และใช้การแสดงผลในส่วนของการจำลองภาพเคลื่อนไหวของการจราจรที่เดินทางผ่านโครงการระหว่างที่มีการดำเนินโครงการ มาใช้ในการประชาสัมพันธ์สร้างความเข้าใจที่ตรงกันในมาตรการความปลอดภัยและลักษณะการจัดการจราจรให้กับประชาชนทั่วไป [13]

การใช้ 4D CAD เพื่อสนับสนุนการประสานงานในกิจกรรมการก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมา ในโครงการปรับปรุงสถานีรถไฟในประเทศเนเธอร์แลนด์ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นให้สามารถรองรับผู้โดยสาร 40,000 คนต่อวันและขณะที่ดำเนินโครงการ สถานีจะต้องสามารถเปิดให้บริการตามปกติ ซึ่งมีผู้รับเหมาหลักที่รับผิดชอบประสานงานกับผู้รับเหมาภายนอกอีก 4 บริษัท ให้เข้ามารับเหมาก่อสร้างทั้งการติดตั้งและการรื้อถอนในส่วนของงานโครงสร้างเหล็ก งานกระจกและการติดตั้งผ้าม่าน ผนัง ไฟฟ้าและเครื่องกล จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนกิจกรรมการก่อสร้างจำนวนมาก ที่จะต้องมีความสอดคล้องกับตารางเวลาเดินรถไฟและเงื่อนไขต่าง ๆ ในสถานที่ดำเนินโครงการ รวมถึงข้อจำกัดของสถานที่ สำหรับพื้นที่วางเครื่องจักรที่จำเป็นต้องใช้ เริ่มต้นสร้างแบบจำลอง 4 มิติด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ในสถานที่ที่จะต้องดำเนินโครงการ สำหรับใช้ในการออกแบบรูปแบบ 2 มิติจากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการ แล้วแปลงข้อมูลเหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบ 3 มิติโดยใช้ AutoCAD 2010 จากนั้นรวบรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จากหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการเพื่อรวมแผนตารางเวลาการก่อสร้างเหล่านี้เข้าด้วยกันโดยการใช้แบบจำลอง 3 มิติของ Autodesk Navisworks Manage 2010

1.2. การจัดการความปลอดภัย

การจัดการความปลอดภัย (Safety Management) ในการก่อสร้าง คือการกำหนดมาตรการที่จะกำจัดจุดเสี่ยงต่อ

การเกิดอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการนำเอาเทคโนโลยี อุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักร อันทันสมัยมาใช้เพื่อทุ่นแรงและประหยัดเวลา แต่ความปลอดภัยในการก่อสร้างไม่ได้วิวัฒนาการตามเทคโนโลยีนั้น ๆ อีกทั้งความปลอดภัยพื้นฐานในงานก่อสร้างยังถูกละเลย นอกจากนี้ คนงานยังขาดความรู้ ความเข้าใจ อย่างถูกต้องเหมาะสม อุบัติเหตุจึงยังคงเกิดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบของความปลอดภัยในงานก่อสร้างมี 3 ส่วน คือ ความปลอดภัยในสถานที่ ความปลอดภัยในการใช้เครื่องมือเครื่องจักร และความปลอดภัยส่วนบุคคล ที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ต้นทุนในการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัย [15], [16], [17]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมา ยังไม่พบการใช้แบบจำลอง 4D CAD สำหรับจัดการความปลอดภัยในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ มีเพียงการใช้แสดงภาพผลกระทบจากการก่อสร้างกับโครงการก่อสร้างถนนสายใหม่เท่านั้น การศึกษาครั้งนี้จึงสนใจการใช้แบบจำลอง 4D CAD สำหรับแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ เพื่อกำหนดมาตรการจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสมในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ

2. วัตถุประสงค์

สร้าง 4D CAD ที่สามารถแสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ผลกระทบต่อการจราจรและการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลา เพื่อปรับแผนการปฏิบัติงาน กำหนดมาตรการจัดการความปลอดภัยและลดผลกระทบการจราจรที่เหมาะสมในโครงการซ่อมบำรุงถนนบริเวณทางแยกต่างระดับ

3. วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด

โดยทำการสำรวจ คัดเลือกทางแยกต่างระดับที่ต้องการศึกษาวิจัย และเก็บข้อมูลปริมาณจราจร ในช่วงเวลาปกติในวันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และการจราจรติดขัดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ ซึ่งมีสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเลือกโครงการซ่อมบำรุงผิวทางบริเวณแยกต่างระดับนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ประเทศไทย เป็นกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศ และการใช้ประโยชน์พื้นที่โดยรอบทางแยกต่างระดับนครราชสีมา

ลงพื้นที่ศึกษาเก็บข้อมูลปริมาณจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ วันธรรมดา วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยการใช้คนนับ (Manual Counts) ในลักษณะทราบจำนวนในแต่ละทิศทางของการจราจรโดยมีตัวอย่างข้อมูลจราจรที่จัดเก็บดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณจราจรในวันหยุดช่วงเวลา 17.00 - 18.00 น. ในหน่วยคันต่อชั่วโมง

	N	S	W	E	SUM
N	-	5163	5737	1147	12047
S	2599	-	780	1949	5328
W	2649	530	-	2119	5297
E	1281	3629	4270	-	9180
SUM	6529	9322	10786	5216	31852

จากนั้นกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่คาดว่าจะดำเนินงานในลักษณะต่าง ๆ จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุง ให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแผนงานที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับให้มีหลากหลายแผนงานทางเลือก จากข้อมูลกิจกรรมที่จะต้องดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ ในการซ่อมบำรุง โดยโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับนี้จึงมีระยะเวลาในการดำเนินงาน 125 วัน โดยมีแผนการปฏิบัติงานที่มีความเป็นไปได้ 3 แผน ดังแสดงในตารางที่ 2, 3, และ 4 โดยในแผนงานทั้ง 3 แทนกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตัวอักษร a ถึง i

ตารางที่ 2 แผน A เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ

Month / Activity	1	2	3	4	5
a					
b					
c					
d					
e					
f					
g					
h					
i					

ตารางที่ 3 แผน B เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศเหนือมุ่งทิศตะวันตก

Month / Activity	1	2	3	4	5
a					
b					
c					
d					
e					
f					
g					
h					
i					

ตารางที่ 4 แผน C ช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ

Month / Activity	1	2	3	4	5
a					
b					
c					
d					
e					
f					
g					
h					
i					

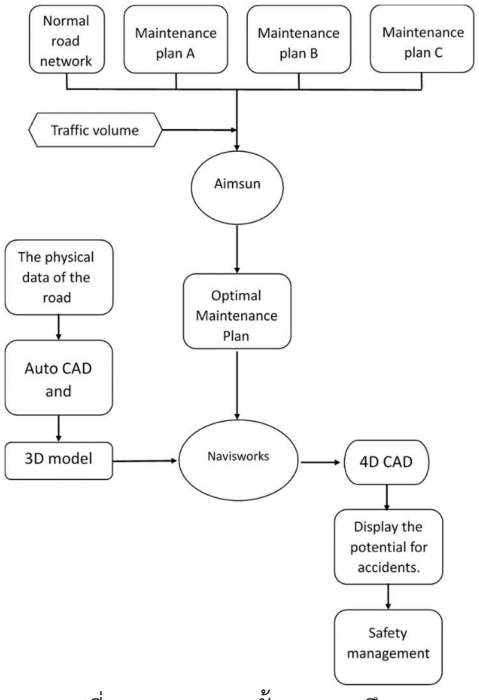
หมายเหตุ: a คือปิดกั้นช่องจราจร b คือกำหนดพื้นที่เสียหาย c คือเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 d คือเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออก Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 e คือปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+000 ถึง Sta. 0+510 f คือปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง Sta. 0+510 ถึง Sta. 1+135 g คือก่อสร้างผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ h คืองานรอยต่อถนน i คืองานสีตีเส้น

จากนั้นนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจร เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลของกระแสจราจรในสภาวะปกติ เทียบกับกรณีที่มีการปิดช่องจราจรบางส่วนในบริเวณทางแยกต่างระดับในแต่ละชั่วโมง ตามแผนการซ่อมบำรุงที่มีหลากหลายแผนงานทางเลือกในโปรแกรม Aimsun® แล้วนำค่าพารามิเตอร์ของการจราจร 3 ตัว ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ที่ได้ ไปใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบแผนงานทั้ง 3 เพื่อคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุด

3.2 การสร้าง 4D CAD

ในการสร้าง 4D CAD ทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม Auto CAD® ร่วมกับโปรแกรม SketUp® จากข้อมูลเชิงพื้นที่ทางวิศวกรรมของทางแยกต่างระดับและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่ โดยใน

แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นกำหนดให้รูปทรงทางเรขาคณิตแทนสิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภคพื้นฐานต่าง ๆ ในพื้นที่ และแทนเครื่องจักร เช่น เครน รถปูน รถบรรทุก ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยรูปทรงเหล่านี้จะแสดงให้เห็นภาพพื้นที่ที่เครื่องจักรเหล่านั้นจำเป็นต้องใช้ในขณะปฏิบัติงานทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง จากนั้นผนวกแบบจำลอง 3 มิติ ดังกล่าวเข้ากับแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้โปรแกรม Navisworks® เพื่อสร้าง 4D CAD โดยนำเข้าแบบจำลอง 3 มิติ ของทางแยกต่างระดับที่สร้างขึ้น ด้วยคำสั่ง Append ซึ่งสามารถเปิดไฟล์ได้หลากหลายนามสกุล จากนั้นใช้คำสั่ง Time Liner ในการกำหนดพื้นที่ในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่จะต้องดำเนินงานตามกิจกรรมต่าง ๆ ของแผนการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นใช้คำสั่ง Add Task โดยในขั้นตอนนี้สามารถกำหนดวันเริ่มดำเนินงานและวันเสร็จสิ้นของแต่ละกิจกรรมที่จะต้องทำตามปฏิทินของแผนการซ่อมบำรุงได้ โปรแกรมดังกล่าวจะสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างตามแผนการซ่อมบำรุง ซึ่งทำให้สามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ ดังแผนภาพของขั้นตอนการวิจัยที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพของขั้นตอนการศึกษา

จากนั้นพิจารณาจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรที่แสดงให้เห็นใน 4D CAD ที่สร้างขึ้น ว่าเกิดจุดเสี่ยงขึ้นที่ใดในช่วงเวลาใดบ้าง เพื่อปรับแผนการปฏิบัติงานและกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมสำหรับแต่ละจุดในช่วงเวลานั้น ๆ

ซึ่งการศึกษานี้มีข้อจำกัดในการนำมาตรการการจัดการความปลอดภัยที่ได้ไปทดลองใช้กับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากโครงการซ่อมบำรุงดังกล่าวยังเป็นเพียงแผนที่คาดการณ์ว่าจะดำเนินการในอนาคต

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการคัดเลือกแผนปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณจราจรในสภาพโครงข่ายถนนปกติที่ไม่มีการปิดกั้นช่องจราจร เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจร ฯ ในขณะมีการปิดกั้นช่องทางจราจรตามแผนซ่อมบำรุง A B และ C โดยค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรมดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นที่สุด ในสภาพโครงข่ายถนนปกติที่ไม่มีการปิดกั้นช่องจราจร กับผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจร ฯ ในขณะมีการปิดกั้นช่องทางจราจรตามแผนซ่อมบำรุง A B และ C

ชั่วเวลา / พารามิเตอร์	**17.00–18.00 น. วันธรรมดา**	**11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์**
กรณีโครงข่ายถนนสภาพปกติ		
Delay Time (sec/km)	24.84	90.48
Speed (km/hr)	44.00	30.46
Travel Time (sec/km)	90.63	156.18

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นที่สุด ในสภาพโครงข่ายถนนปกติที่ไม่มีการปิดกั้นช่องจราจร กับผลการวิเคราะห์ปริมาณจราจร ฯ ในขณะมีการปิดกั้นช่องทางจราจรตามแผนซ่อมบำรุง A B และ C (ต่อ)

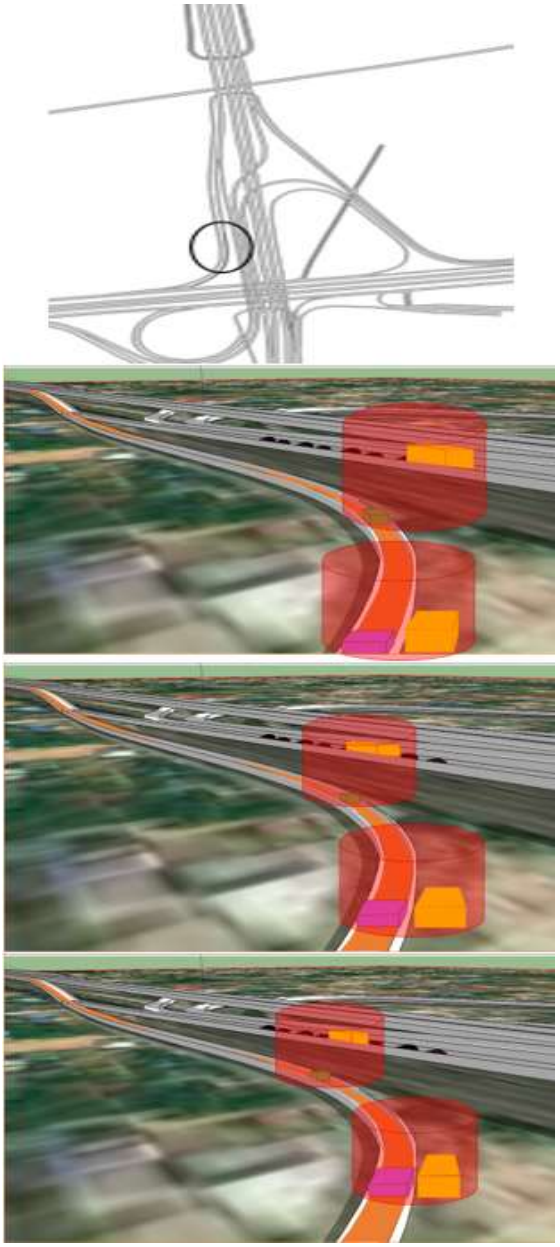
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง A		
Delay Time (sec/km)	53.92	115.78
Speed (km/hr)	35.77	25.22
Travel Time (sec/km)	119.75	181.76
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง B		
Delay Time (sec/km)	62.11	111.89
Speed (km/hr)	34.72	25.56
Travel Time (sec/km)	127.95	177.92
กรณีปิดกั้นถนนตามแผนซ่อมบำรุง C		
Delay Time (sec/km)	49.87	107.08
Speed (km/hr)	37.24	26.23
Travel Time (sec/km)	108.61	165.40

เมื่อเปรียบเทียบแผนซ่อมบำรุงทั้ง 3 แผน กับโครงข่ายถนนสภาพปกติ ซึ่งพิจารณาในวันธรรมดาและวันหยุดสุดสัปดาห์เท่านั้น เนื่องจากแผนการซ่อมบำรุงมีการกำหนดให้ปฏิบัติงานวันจันทร์ – วันเสาร์ พบว่าค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Delay Time) 2) ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Speed) และ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ (Travel Time) ของกระแสจราจรของแผนซ่อมบำรุง C เริ่มซ่อมบำรุงจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ มีค่าความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับ ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 49.87 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 107.08 sec/km มีค่าน้อยกว่าแผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 53.92 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 115.78 sec/km และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 62.11 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 111.89 sec/km มีค่าความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับเร็วกว่าแผนการซ่อมบำรุง A และ B โดยแผนซ่อมบำรุง C ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 37.24 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 26.23 km/hr แผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 35.77 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 25.22 km/hr และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 34.72 km/hr ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 25.56 km/hr และมีค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผนการซ่อมบำรุง A และ B โดยแผนซ่อมบำรุง C ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 108.61 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 165.40 sec/km แผนการซ่อมบำรุง A ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 119.75 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 181.76 sec/km และแผนซ่อมบำรุง B ในช่วงเวลา 17.00–18.00 น. วันธรรมดา 127.95 sec/km ในช่วงเวลา 11.00–12.00 น. วันหยุดสุดสัปดาห์ 177.92 sec/km แผนซ่อมบำรุง C จึงเป็นแผนงานที่มีความเหมาะสมที่สุด

การคัดเลือกแผนงานที่เหมาะสมที่สุดนั้น พิจารณาจาก 3 ตัวแปร คือ เวลาล่าช้า ความเร็ว และเวลาเดินทาง ซึ่งเป็นตัวแปรหลักของการประเมินประสิทธิภาพของการจราจร โดยแผน C ซึ่งเป็นแผนงานเหมาะสมที่สุด และคาดว่ามีความปลอดภัยสูงสุด เมื่อเทียบกับอีก 2 แผนงานคือแผน A และ B เนื่องจากแผน C ทำให้การจราจรที่สัญจรผ่านทางแยกต่างระดับมีความคลองตัวมากที่สุด น่าจะเกิดจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่จะส่งผลกระทบต่อการจราจรที่สัญจรผ่านน้อยที่สุดด้วย

4.2 ผลการสร้าง 4D CAD

หากยกตัวอย่างผลการแสดงภาพของ 4D CAD ที่สร้างขึ้นจะเห็นว่า ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงในช่วงเช้าวันที่ 16 วันที่ 17 และวันที่ 18 ของการดำเนินโครงการซ่อมบำรุง อยู่ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมเจาะสกัดผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออกที่ Sta. 0+342 ที่ Sta. 0+367 และที่ Sta. 0+392 ตามลำดับ บริเวณพื้นที่บล็อกสีเขียว โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเจาะสกัดด้วยเครื่องสกัดคอนกรีตขนาดเล็ก (Jackhammer) เนื่องจากถนนบริเวณทางแยกต่างระดับเป็นโครงสร้างสะพานซึ่งต่างจากถนนบริเวณอื่นบนพื้นราบ จึงไม่สามารถใช้เครื่องจักรหนักในการเจาะสกัด เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างสะพานได้ และเมื่อดำเนินการเจาะสกัดผิวทางออกจะต้องทำการขนย้ายผิวทางเดิมออกจากพื้นที่ก่อสร้าง แต่ด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่จึงไม่สามารถให้รถบรรทุกวิ่งเข้าไปขนวัสดุภายในพื้นที่ก่อสร้างเหมือนถนนบนพื้นราบทั่วไปได้ จำเป็นต้องใช้เครนในการขนย้ายวัสดุจากช่องจราจรที่ซ่อมบำรุงมาใส่รถบรรทุกที่ช่องจราจรอื่น จึงต้องปิดช่องจราจรอื่นเพื่อให้รถเครนจอดปฏิบัติงานและให้รถบรรทุกวิ่งเข้ามารับวัสดุออกไปจากพื้นที่ก่อสร้างได้ ซึ่งแสดงด้วยบล็อกสีเหลือง



รูปที่ 3 การแสดงภาพของ 4D CAD ที่แสดงภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรของแผน C และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุง

และเนื่องจากเครนมีรัศมีการทำงานในแนวราบและแนวดิ่งมากกว่า 10 เมตร ซึ่งจะเห็นพื้นที่ทับซ้อนในการทำงานของเครื่องจักรกับพื้นที่ก่อสร้าง ช่องทางคู่ขนานที่เข้าสู่ชุมชนและพื้นที่ข้างเคียงในพื้นที่ทรงกระบอกสีแดง และในขณะเดียวกันก็มีการดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมชั้นรองพื้นทาง ที่ Sta. 0+327 ที่ Sta. 0+344 และที่ Sta. 0+361 ตามลำดับพื้นที่บล็อกสีม่วง ไปพร้อมกัน โดยในกิจกรรมนี้จำเป็นต้องใช้รถเครนและรถบรรทุกในการขนส่งวัสดุที่จะใช้ในการซ่อมแซมชั้นรองพื้นทางด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงด้วยบล็อกสีเหลือง และเนื่องจากเครนมีรัศมีการทำงานในแนวราบและแนวดิ่งมากกว่า 10 เมตร ซึ่งจะเห็นพื้นที่ทับซ้อนในการทำงานของเครื่องจักรกับพื้นที่ก่อสร้าง ช่องทางคู่ขนานที่เข้าสู่ชุมชนและพื้นที่ข้างเคียงในพื้นที่ทรงกระบอกสีแดง 4D CAD จึงแสดงภาพให้เห็นจุดเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงพื้นที่ที่รถเครนและรถบรรทุกต้องใช้ในการปฏิบัติงานทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ส่งผลกระทบต่อการจราจรคือต้องเปลี่ยนไปใช้ช่องทางอื่น ๆ ในการเดินทางจากทิศตะวันตกมุ่งทิศเหนือ และผลกระทบต่อการจราจรในช่องทางที่เดินทางจากทิศตะวันออกมุ่งทิศเหนือเพราะจำเป็นต้องปิดกั้นช่องทางในช่วงเวลาปฏิบัติงาน รวมถึงเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจาก 2 กรณี คือ 1. ในการขนย้ายเศษวัสดุเดิมที่เจาะสกัดออกจากพื้นที่ก่อสร้าง และการขนย้ายวัสดุที่ใช้ในการซ่องแซมพื้นทางเข้ามายังพื้นที่ก่อสร้าง อาจมีวัสดุตกจากที่สูงลงมายังพื้นที่ก่อสร้างในขณะที่รถเครนและรถบรรทุกปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ และ 2. อาจเกิดอุบัติเหตุต่อรถที่สัญจรผ่านช่องจราจรที่ติดกับพื้นที่ที่รถเครนและรถบรรทุกใช้ปฏิบัติงาน จากการหนุมของเครนต่อช่องทางทิศเหนือมุ่งตะวันตกที่อยู่ในช่องทางข้างเคียงและการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุกในบริเวณช่องทางคู่ขนานของถนนมิตรภาพในทิศมุ่งเข้าจังหวัดนครราชสีมา

จากการที่ผู้วางแผนโครงการสามารถเห็นจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุดังกล่าว ทำให้สามารถกำหนดมาตรการความปลอดภัยและประมาณการงบประมาณสำหรับบริหารจัดการความปลอดภัย นอกจากที่จำเป็นต้องจัดเตรียมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงดังนี้ 1. ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีเครื่องป้องกันวัสดุที่อาจตกจากที่สูง คืออุปกรณ์ป้องกันศีรษะ (Head Protection Devices) นอกเหนือจากอุปกรณ์ป้องกันหู (Ear Protection) แว่นนิรภัย (Eye protection) ถุงมือนิรภัย (Hand Protection) รองเท้านิรภัย (Foot Protection) หน้ากากกรองฝุ่นละอองเพื่อป้องกันฝุ่นละออง ในพื้นที่การทำงานที่มีฝุ่นละอองมากกว่าปกติ และเสื้อสะท้อนแสง 2. จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันวัสดุตกลงมาบริเวณช่องจราจรด้านล่าง คือตาข่ายเซฟตี้กันตก (Safety Net) ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จะมีความเหนียว ทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย สำหรับใช้กันคนพลัดตกจากที่สูงขณะก่อสร้าง หรือกันสิ่งของตกหล่นจากด้านบน โดยติดตั้งสลิงหุ้มยางร้อยผ่ากลางตลอดแนวตาข่ายในตาข่ายที่มีแนวยาวมาก ๆ หรืออาจร้อยสลิงเป็นกากบาทระหว่างมุมตาข่ายเพื่อให้ตาข่ายเกิดความตึง และมีการปูสแลนไว้ด้านล่างของแนวตาข่ายเนื่องจากโครงการซ่อมบำรุงทางต่างระดับเป็นพื้นที่ก่อสร้างก่อสร้างที่มีการรื้อถอนผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีเศษปูนในปริมาณมากขณะดำเนินงาน รวมถึงต้องทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ควบคุมการจราจรบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ทั้งป้ายเตือน แผงกั้น เครื่องจัดช่องจราจร อุปกรณ์ส่องสว่าง และเครื่องให้สัญญาณ ให้เพียงพอต่อการบริหารจัดการจุดเสี่ยงจากการเข้าออกพื้นที่ของรถบรรทุกและการบริหารจัดการความปลอดภัยในพื้นที่ก่อสร้างซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสม

นอกจาก 4D CAD จะมีความสามารถในการแสดงภาพดังที่กล่าวมาแล้วนั้น แบบจำลองยังแสดงให้เห็นความแตกต่างของผลกระทบต่อการจราจรในช่วงเวลาเดียวกันระหว่างวันธรรมดา กับวันหยุดสุดสัปดาห์ จึงทำให้ผู้วางแผนโครงการสามารถทำการปรับแผนการเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ให้สอดคล้องกับการจราจรในช่วงเวลานั้น ๆ โดยการปรับแผนการปฏิบัติงานเฉพาะในวันหยุดสุดสัปดาห์ของแผน C ช่วงเช้าให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานจากพื้นที่ทางทิศตะวันตก ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อการจราจรในวันหยุดสุดสัปดาห์ได้

5. สรุปผล

ผลการคัดเลือกแผนการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้น คือแผนการซ่อมบำรุง C ที่ได้ปรับแผนการปฏิบัติงานหลังจากพิจารณาจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและผลกระทบต่อการจราจรที่แสดงให้เห็นใน 4D CAD โดยในวันธรรมดาช่วงเช้าให้เข้าทำงานจากพื้นที่ทางทิศตะวันตกและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือ แต่ในวันหยุดสุดสัปดาห์ช่วงเช้าให้เข้าทำงานพื้นที่ทางทิศเหนือและช่วงบ่ายให้เข้าทำงานจากพื้นที่ทางทิศตะวันตก ซึ่งสามารถทำการคัดเลือกจากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกระแสจราจรทั้ง 3 ตัว คือ มีความล่าช้าในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผน A และ B มีความเร็วที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับเร็วกว่าแผน A และ B รวมถึงมีค่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านแยกต่างระดับน้อยกว่าแผน A และ B

4D CAD ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ก่อสร้างในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามขั้นตอนการซ่อมบำรุงได้จริง ทำให้สามารถเห็นภาพจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุง ที่เปลี่ยนตำแหน่งตามแผนปฏิบัติงานในแต่ละช่วงเวลาได้ ทำให้สามารถปรับแผนการปฏิบัติงาน กำหนดมาตรการความปลอดภัยและลดผลกระทบต่อการจราจรที่เหมาะสมกับจุดเสี่ยง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาได้ เช่น การปรับแผนการเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ของวันหยุดสุดสัปดาห์เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมถึงสามารถทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ในการป้องกันเศษวัสดุที่อาจตกจากที่สูงลงมายังพื้นที่ด้านล่างได้อย่างเพียงพอและเหมาะสม รวมถึงจัดเตรียมอุปกรณ์ปิดกั้นเส้นทางที่เหมาะสมและเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ในจุดเสี่ยงที่เกิดจากการปิดกั้นพื้นที่ที่เครื่องจักรต้องใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้สามารถประมาณการงบประมาณในการดำเนินโครงการได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริง และป้องกันการเกิดความสูญเสียต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งเป็นการจัดการความปลอดภัยของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือการนำมาตรการจัดการความปลอดภัยที่ได้ไปทดลองใช้กับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากโครงการซ่อมบำรุงกรณีศึกษาเป็นเพียงแผนโครงการที่จะดำเนินการในอนาคต และควรเพิ่มศึกษาผลกระทบด้านอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินโครงการซ่อมบำรุงทางแยกต่างระดับที่มีต่อผู้ใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบ เช่น ผลกระทบจากเสียงและฝุ่นละออง เพื่อสามารถเตรียมมาตรการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] F. C. Fang and L. Elefteriadou, “Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis,” *Journal of Transportation Engineering © ASCE*, pp. 535-543, 2005.

[2] J. Wang, Y. Kong, T. Fu and J. Stipancic, “The impact of vehicle moving violations and freeway traffic flow on crash risk: An application of plugin development for microsimulation,” *PLOS ONE*, vol. 8, pp. 1-22, Sep. 2017.

[3] Ľ. Černický, A. Kalašová and J. Kapusta, “Signal controlled junctions calculations in traffic capacity assessment - aimsun, omnitrans, webster and tp 10/2010 results comparison,” *Transport Problems*, vol. 11, pp. 121-130, 2016.

[4] S. Moridpour, E. Mazloumi1 and M. Mesbah, “Impact of heavy vehicles on surrounding traffic characteristics,” *Journal of Advanced Transportation*, vol. 49, pp. 535–552, 2015.

[5] R. Jongeling and T. Olofsson, “A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD,” *Automation in Construction*, vol. 16, pp. 189–198, 2007.

[6] T. Hartmann, J. Gao and M. Fischer, “Areas of application for 3d and 4d models on construction projects,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 134, pp. 776–785, 2008.

[7] T. Hartmann and M. Fischer, “Supporting the constructability review with 3d/4d models,” *Building Research and Information*, vol. 35, pp. 70–80, 2007.

[8] K. Chau, M. Anson and J. Zhang, “Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 130, pp. 598–606, 2004.

[9] V. Benjaoran and S. Bhokha, “An integrated safety management with construction management using 4D CAD model,” *Safety Science*, vol. 48, pp. 395–403, 2010.

[10] W. Zhou, J. Whyte and R. Sacks, “Construction safety and digital design: a review,” *Automation in Construction*, vol. 22, pp. 102–111, 2012.

[11] Y. Zhou, L.Y. Ding and L.J. Chen, “Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction,” *Automation in Construction*, vol. 34, pp. 25–36, 2013.

[12] P.P.A. Zanen, T. Hartmann, S.H.S. Al-Jibouri and H.W.N. Heijmans, “Using 4D CAD to visualize the impacts of highway construction on the public,” *Automation in Construction*, vol. 32, pp. 136–144, 2013.

[13] K. A. Liapi, “4D visualization of highway construction projects,” *Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization*, Los Alamitos, Calif., 2003, pp. 639–644.

[14] M. Trebbe a, T. Hartmann and A. Dorée, “4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors,” *Automation in Construction*, vol. 49, pp. 83–91, 2015.

[15] A. Carbonari, A. Giretti and B. Naticchia, “A proactive system for real-time safety management in construction sites,” *Automation in Construction*, vol. 20, pp. 686-698, 2011.

[16] E. Jazayeri and G. B. Dadi, “Construction safety management systems and methods of safety performance measurement: A review,” *Journal of Safety Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 15-28, 2017.

[17] M. Behm, “Linking construction fatalities to the design for construction safety concept,” *Safety Science*, vol. 43, pp. 589-611, Oct. 2005.