การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสำหรับงานเปลี่ยนแปลงในโครงการก่อสร้าง
APPLICATION OF VIRTUAL REALITY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY FOR VARIATION ORDER IN CONSTRUCTION PROJECT

นายธรรศ รัศมีเวสารัช[1] นายปฏิธาน ยิ่งวงศ์วิวัฒน์[2] และ รศ. ดร. นพดล จอกแก้ว[3]

[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการนำเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาใช้กับการก่อสร้างเนื่องจากในงานก่อสร้างนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง ได้แก่การแก้ไขหรือเปลี่ยนแบบก่อสร้างภายหลังจากดำเนินการก่อสร้างแล้วได้เห็นสภาพเนื้องานจริง ๆ ซึ่งอาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมโดยกำหนดสมมติฐานว่า เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงให้ความรู้สึกไม่แตกต่างจากการดูงานก่อสร้างในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งนำกรณีศึกษางานก่อสร้างที่มีการรายงานปัญหาเรื่องความรู้สึกไม่ปลอดภัยจากผู้ใช้งาน โดยให้กลุ่มตัวอย่างถูกวัดความรู้สึกต่อขนาดของสิ่งก่อสร้าง และความรู้สึกปลอดภัย ของแบบก่อสร้างราวกันตก 4 แบบ โดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติรวมไปถึงวิธีการวิเคราะห์แบบเมทริกซ์ร่วมกับปัจจัยด้านต้นทุนและแบ่งออกเป็นทางเลือกต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจของเจ้าของโครงการในการเลือกแบบก่อสร้างที่เหมาะสมจะนำไปใช้แทนแบบเดิม

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง, การแก้ไขงานก่อสร้าง, ความรู้สึก, ราวกันตก, ราวระเบียง

Abstract

The objective of this thesis is to present the implementation of virtual environment technology with construction project. In construction the problems usually occur are editing or changing the construction plan after the constructional process has already been on operation and the work has already been concreate which may cause an additional cost of the project. Our hypothesis is that the virtual reality technology provides no different sense from the construction work in the real-world environment. We bring up the case study of construction which was reported to be troubling with insecurity from users. The subjects of that study were measured the feeling of the size of building and for safety of the 4 types of railing construction plan using virtual environment technology and statistical analysis, matrix analysis methods and together with cost factor as a tool for the project owner to make a decision on replacing the older construction plan with the suitable change order plan.

Keywords: Virtual Environment, Variation Order, Feeling, Railing, Baluster

1. บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

การแก้ไขแบบก่อสร้างหน้างานเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ในปัจจุบันจากการเข้าใจไม่ตรงกันระหว่างเจ้าของงาน ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมา ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้โปรแกรม 3 มิติมาช่วยในการออกแบบก่อสร้าง เพื่อความง่ายต่อการเข้าใจของเจ้าของงาน ทำให้เจ้าของงานเห็นภาพของโครงการได้ดียิ่งขึ้น แต่ถึงอย่างนั้นปัญหาการแก้แบบก็ยังคงลดลงไม่มากนัก เราจึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาแบบก่อสร้างให้ดียิ่งขึ้น เพื่อลดปัญหาการแก้ไขแบบขณะก่อสร้าง โดยการนำเทคโนโลยีจำลองภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) มาใช้ในการลดการแก้ไขแบบก่อสร้างจะช่วยให้เจ้าของงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง อีกทั้งสามารถลดเวลาของผู้รับเหมาและผู้ออกแบบ เปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง (Variation Order) จึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้งานก่อสร้างก้าวหน้าขึ้นในอนาคตข้างหน้าโดยคาดว่าการใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสามารถลดปัญหาการแก้แบบขณะก่อสร้างได้

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างนั้นอาจมาจากการที่ผู้รับเหมาไม่เข้าใจหรือเข้าใจแบบก่อสร้างผิดพลาด รวมถึงแบบก่อสร้างที่ได้ออกแบบไว้นั้นไม่เหมาะสมหรือออกแบบไม่ดีตั้งแต่ต้น ซึ่งสาเหตุที่พบได้บ่อยคือฝ่ายออกแบบไม่ได้พิจารณาถึงความรู้สึกของผู้ใช้งานเท่าที่ควร ส่วนใหญ่จะทำการออกแบบโดยเพียงคำนึงถึงข้อกำหนดทางกฎหมายเท่านั้นเช่น ราวกันตกสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1100 มิลลิเมตร และช่องเปิดของซี่ลูกกรงต้องมีขนาดที่ไม่สามารถให้วัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรลอดได้ [1] และเมื่อก่อสร้างเสร็จและมีผู้ใช้งานจริง ผู้ใช้งานจึงมีความรู้สึกไม่สะดวกหรือไม่ปลอดภัย ทำให้ต้องเปลี่นแปลงแบบก่อสร้างใหม่ในภายหลัง ส่งผลให้เสียเวลาและเสียเงิน ซึ่งในปัจจุบันในต่างประเทศนั้นได้มีการเริ่มนำเทคโนโลยี VR เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่ในประเทศไทยนั้น VR ยังไม่ค่อยเป็นที่รู้จักและแพร่หลาย จึงจำเป็นต้องศึกษาการใช้งานเทคโนโลยี VR ในงานก่อสร้างอย่างละเอียด

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้างในเพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้าง
2. เพื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างการใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจำลองแบบก่อสร้าง กับสภาพแวดล้อมจริงสำหรับการรับรู้ความรู้สึกของผู้ใช้งาน เพื่อลดการแก้ไขงานก่อสร้าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการจำลองแบบก่อสร้างให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง
2. นำเสนอการใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงเพื่อที่จะสามารถลดปัญหาการแก้แบบขณะก่อสร้างได้มากยิ่งขึ้น
3. เป็นตัวเลือกที่จะนำแบบก่อสร้างที่คุ้มราคาและให้ความรู้สึกปลอดภัยที่เพียงพอ เพื่อนำไปพิจารณาเลือกแบบก่อสร้างที่เหมาะสมจะนำไปแก้ไขต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีความเสมือนจริง (Virtual Reality)

ความเป็นจริงเสมือน (virtual reality, VR) คือทัศนียภาพรอบทิศทางที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ จำลองและถ่ายทอดความรู้สึกและประสบการณ์ดั่งอยู่ในโลกเสมือนจริง การรับชมความเป็นจริงเสมือนจำเป็นต้องมีอุปกรณ์รับชมซึ่งรับสัญญาณมาจากคอมพิวเตอร์

โดยปกติแล้วจะมีฮาร์ดแวร์ที่ป้อนตรงต่อประสาทสัมผัสด้านการมองเห็นที่เรียกว่า “จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ” (Head-Mounted Display, HMD) ให้ตาทั้งสองได้เห็นภาพเป็นสามมิติจากจอภาพขนาดเล็กที่ให้ภาพ (หรือต่อไปอาจลดขนาดลงเป็นแว่นตาก็ได้) และเมื่อผู้ใช้เคลื่อนไหวภาพก็จะถูกสร้างให้รับกับความเคลื่อนไหวนั้น บางกรณีก็จะมีหูฟังแบบสเตอริโอให้ได้ยินเสียงรอบทิศทาง และอาจมีถุงมือรับข้อมูล (data glove) หรืออุปกรณ์อื่นที่จะทำให้ผู้ใช้โต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมจำลองที่ตนเข้าไปอยู่ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 การใช้งาน VR (https://www.marketwatch.com/story/heres-why-you-will-be-hearing-more-about-virtual-reality-2019-07-15)

2.2 ความแตกต่างระหว่าง BIM และ CAD ในการพัฒนาแบบ 3 มิติ

CAD (Computer Aided Design) คือเทคโนโลยีที่นำกราฟิกมาช่วยในการออกแบบและเขียนทั้งในระบบ 2 มิติและ 3 มิติ และยังคงใช้วิธีการทำงานเลียนแบบการเขียนแบบเดิม โดยสามารถแสดงผลในมุมมองต่าง ๆ รวมทั้งการใส่วัสดุและสร้างภาพที่มีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น

ในขณะที่ BIM (Building Information Modeling) เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองอาคาร (Building Model) พร้อมข้อมูลสารสนเทศ (Information) อีกทั้งยังสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในการทำงานขั้นตอนต่อ ๆ ไป เช่น งานก่อสร้างและบริหารโครงการก่อสร้าง

BIM มีความแตกต่างจาก CAD โดย BIM จะใช้วิธีการสร้างวัตถุแบ่งเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคารเลียนแบบจริง เช่น พื้น ผนัง หลังคา เสา คาน ทั้งในรูป 2 มิติ และ 3 มิติ มาประกอบกันเป็นตัวอาคารจำลอง โดยสามารถใส่ข้อมูลสารสนเทศซึ่งจัดเป็นโมเดลที่ต้องใส่พารามิเตอร์ (Parametric Model) กล่าวคือ เป็นการอธิบายความหมายด้วยบริบท (Context) หรือ สิ่งแวดล้อมประสานงานกันเพื่ออธิบายพารามิเตอร์นั้น ๆ โดยที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Model และจะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติจากซอฟต์แวร์หรือผู้ใช้ในขณะที่ผู้ใช้ทำงาน กล่าวคือหากเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์อะไรบางอย่างมีผลกระทบต่อสิ่งข้างเคียง และสามารถปลี่ยนพิกัด (Coordinate) จากนั้นวัตถุในโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือของ BIM เช่น Revit จะเปลี่ยนแปลงตามพิกัดนั้น ๆ ได้ทุกที่ทุกเวลาตลอดทั้งโครงการ อีกทั้งสามารถแสดงวัตถุหลังจากที่เปลี่ยนตำแหน่งในวัตถุได้ทันที และสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวโดยไม่สามารถแทรกแซงที่จะอัพเดทแบบ (Drawing or Content) เพิ่มเติม

ตัวอย่างการใช้งานคือคำสั่ง “EQ” โดยให้ของผนังเท่ากัน (Proportional parametric model) หรือ เราสามารถ “Fixed” หน้าต่างจากขอบกำแพง (Partition wall) ที่เราอ้างอิงได้ หากเราเคลื่อนกำแพงหน้าต่างจะเคลื่อนที่แต่จะคงสัดส่วนระยะห่างระหว่างขอบกำแพงเหมือนเดิม หรือว่าเราสามารถผูกกับผนังหรือหลังคาว่าอยู่ใน Level ใด ๆ

เช่น วัตถุผูกกับระดับที่ 2 (Base constraint Level 2) หากต้องการเพิ่มเติม โปรแกรม Revit จะทำตาม 2 หลักการได้แก่

1. Revit พยายามเตือนเพื่อจะควบคุมว่าสิ่งที่เราเปลี่ยนแปลงมีอะไรบ้าง หรือหากเกิดข้อผิดพลาดเช่นการซ้อนทับกันจะมีการแจ้งเตือน

2. ซอฟท์แวร์จะทำงานเหมือนดั่งผู้ใช้ทำงานเองแต่ไม่เข้าไปตรวจสอบข้อมูลที่ไม่สำคัญหรือปลีกย่อย (Revit จับพฤติกรรมของผู้เขียนแล้วสร้าง parametric ขึ้นมา)

ในการทำงานด้วย BIM โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลอง (Model) ในมาตรฐานของหลายประเทศ มักมีการกำหนดสิ่งที่เรียกว่า LOD (Level of Development) ใส่เข้าไปในแบบจำลองว่าจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดในแบบใดเพื่อจะได้ลดเวลาและต้นทุนในการทำงานเช่น วาดแบบผนัง (Wall) ในระดับขั้นตอนการพัฒนาแบบ (LOD-Design Development) หรือวาดแบบราวกันตกในระดับขั้นตอนแบบก่อสร้าง (LOD-Shop Drawing) เพื่อให้โปรแกรมถอดปริมาณ (Schedule) เพื่อที่จะประมาณราคาร (Cost Estimate) ต่อไปได้ เป็นต้น [2]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองสารสนเทศเสมือนจริงมาใช้ในงานออกแบบ

โครงการวิจัย BIM Interactive – About Combining BIM and Virtual Reality (Kieferle J., Woessner U. 2015) เป็นงานวิจัยที่นำเอาแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาผสมผสานเข้ากับความจริงเสมือน เป็นการทำเพื่อใช้ในขั้นตอนของการออกแบบอาคารซึ่งมุ่งเน้นไปที่การแสดงผลของการจำลองสภาวะ (Simulation) ของอาคารในรูปแบบต่าง ๆ ของการออกแบบ โดยใช้ซอฟท์แวร์ Autodesk Revit ในการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และใช้ฮาร์ดแวร์ HMD ประเภททำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ในส่วนข้อมูลสารสนเทศอาคารนั้นสามารถแสดงออกมาได้เฉพาะชั้นที่อยู่ในขณะนั้นและขนาดพื้นที่นั้นดังภาพที่ 2 [3]

ภาพที่ 2 การทดลองใช้งานระบบ จาก BIM Interactive – About Combining BIM and Virtual Reality (https://www.semanticscholar.org/)

3. วิธีดำเนินการและผลการวิจัย

กรณีศึกษาที่นำมาใช้คือ ราวบันไดและราวกันตกของอาคารสูง โครงการออกแบบก่อสร้างอาคารเรียนรวมและหอพักนักศึกษาพยาบาล วิทยาลัยพยาบาลสภากาชาดไทย ซึ่งได้มีการออกแบบและดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จ แต่เมื่อเปิดใช้งานพบว่าได้รับความคิดเห็นจากผู้ใช้งานจำนวนมากว่าผู้ใช้รู้สึกไม่ปลอดภัย จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงงานเกิดขึ้นและมีการออกแบบราวกันตกใหม่ขึ้นมา ด้วยเหตุนี้จึงเลือกกรณีศึกษานี้โดยออกแบบราวระเบียง (Baluster) และราวกันตก (Railing) โดยคำนึงถึงความรู้สึกปลอดภัยของผู้ใช้ และในงานเปลี่ยนแปลงนั้นย่อมต้องมีต้นทุนที่เพิ่มขึ้น รวมถึงนำตัวแปรด้านต้นทุนต่อหน่วย (Unit Price) นำมาพิจารณาควบคู่กันโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบเมทริกซ์ (Matrix Analysis)

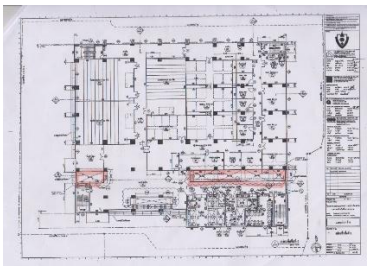
3.1 การพัฒนาแบบสามมิติเพื่อนำมาวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองก่อสร้างที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 2 วิธี คือ แบบ 3 มิติ และการใช้เทคโนโลยีสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงดังนี้

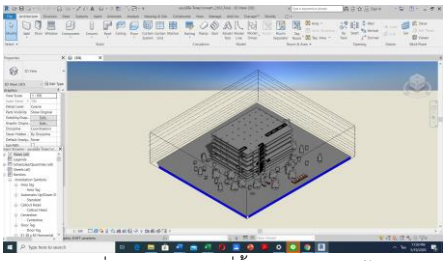
3.1.1 ขั้นตอนการพัฒนาแบบ 3 มิติ

โปรแกรมที่ใช้: Revit 2019 (Student Version)

ในขั้นตอนนี้ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรม Revit มาใช้ในการพัฒนาแบบ 3 มิติขึ้นมาเพื่อนำไปใช้จำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยอ้างอิงแบบ 2 มิติ ดังภาพที่ 3 แล้วจึงได้แบบ 3 มิติดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบก่อสร้าง



ภาพที่ 4 แบบสามมิติที่ขึ้นตามแบบก่อสร้าง

3.1.2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบแปลนโดยใช้เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

โปรแกรมที่ใช้: Enscape (Student Version)

ในขั้นตอนนี้ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรม Enscape ดังภาพที่ 5 ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนเสริมของ Revit (Add-in) และทำงานร่วมกันได้หน้าต่างเริ่มต้นเป็นดังภาพที่ 6

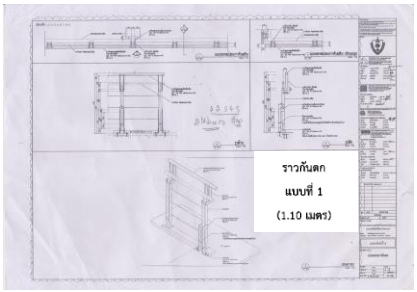
ภาพที่ 5 หน้าต่างเริ่มต้นของ Enscape

ภาพที่ 6 ภาพเรนเดอร์โปรแกรม Enscape ขณะเริ่มใช้งาน

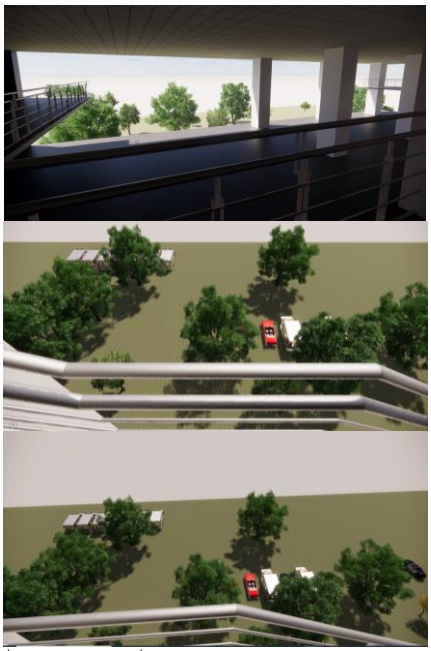
3.2 การออกแบบทางเลือก

ทางผู้จัดทำเลือกออกแบบทางเลือกโดยใช้ตัวแปร คือ ความรู้สึก และต้นทุน โดยพัฒนาแบบราวกันตก 3 มิติ เพิ่มเติม 3 แบบโดยอ้างอิงจากแบบราวกันตกเดิมที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วดังภาพที่ 7 และตามแบบก่อสร้างก่อสร้างโครงการออกแบบก่อสร้างอาคารเรียนรวมและหอพักนักศึกษาพยาบาล ดังภาพที่ 8 รวมทั้งสิ้น 4 แบบได้แก่ 1.) แบบที่ 1 คือแบบเดิมที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว และมีความสูง 1.10 เมตร 2.) แบบที่ 2 ออกแบบให้มีความสูง 1.30 เมตร โดยมีราวจับเพิ่มขึ้น 1 ราว 3.) แบบที่ 3 ออกแบบให้มีความสูง 1.40 เมตร และมีราวจับเพิ่มขึ้น 1 ราว และ 4.) แบบที่ 4 ออกแบบให้มีความสูง 1.50 เมตร และมีราวจับเพิ่มขึ้น 2 ราว เมื่อพัฒนาแบบเสร็จแล้วทำการเรนเดอร์ภาพสามมิติจากโปรแกรม Enscape ได้ดังภาพที่ 9

ภาพที่ 7 ราวกันตกที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว

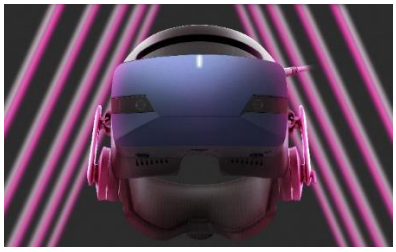


ภาพที่ 8 แบบก่อสร้างราวกันตกที่ก่อสร้างแล้ว



ภาพที่ 9 ตัวอย่างภาพที่เรนเดอร์ในการพิจารณาออกแบบทางเลือกตามจุดต่าง ๆ

ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้อุปกรณ์สวมศีรษะ Acer รุ่น OJO500 เป็นอุปกรณ์แสดงภาพเสมือนจริงในรูปแบบของการสวมศีรษะ (Headset) ในการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างโดยจะแสดงภาพออกมาเป็น 3 มิติชนิด Windows Mixed Reality (WMR) ดังภาพที่ 10 ใช้ควบคู่กับโปรแกรม StreamVR และการใช้งานอุปกรณ์แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ขณะใช้งานอุปกรณ์สวมศีรษะ

ภาพที่ 11 ขณะใช้งานอุปกรณ์สวมศีรษะ

3.3 เครื่องมือสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำแบบสอบถามแก่กลุ่มตัวอย่าง 10 คน โดยเป็นบุคคลทั่วไป และมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง (เพศ)	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)
- ชาย	3	30
- หญิง	7	70
รวม	10	100

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลโดยการรับรู้ถึงความรู้สึกปลอดภัยโดยชุดคำถามมีเกณฑ์การให้คะแนนทั้ง 4 จุดคือ 1.) บริเวณโถงชั้น 2 มีความสูงจากพื้น 12 เมตร 2.) บริเวณบริเวณบันไดระหว่างชั้น 3 และชั้น 4 มีความสูงจากพื้น 16-24 เมตร 3.) บริเวณบริเวณบันไดระหว่างชั้น 4 และชั้น 5 มีความสูงจากพื้น 24-30 เมตร 4.) บริเวณบริเวณบันไดระหว่างชั้น 5 และชั้น 6 มีความสูงจากพื้น 30-36 เมตร โดยมีเกณฑ์ที่แสดงความรู้สึกปลอดภัยที่มีต่อความสูงของราวกันตกดังนี้

5 คะแนน หมายถึง ปลอดภัยมาก

4 คะแนน หมายถึง ปลอดภัย

3 คะแนน หมายถึง ธรรมดา

2 คะแนน หมายถึง ไม่ปลอดภัย

1 คะแนน หมายถึง ไม่ปลอดภัยมาก

อีกทั้งทางผู้จัดทำสืบค้นข้อมูลราคาของวัสดุที่ใช้ทำราวกันตก ได้ว่ามีราคาประมาณ 900 บาทต่อเมตร และทำการประมาณราคาต้นทุนต่อหน่วยกับแบบทางเลือกได้ดังนี้

1. **แบบทางเลือกที่ 2** มีความยาวของวัสดุที่เพิ่มขึ้น 1.385 เมตร ทำให้มีต้นทุน 1246.5 บาทต่อเมตร
2. **แบบทางเลือกที่ 3** มีความยาวของวัสดุที่เพิ่มขึ้น 1.485 เมตร ทำให้มีต้นทุน 1336.5 บาทต่อเมตร
3. **แบบทางเลือกที่ 4** มีความยาวของวัสดุที่เพิ่มขึ้น 2.585 เมตร ทำให้มีต้นทุน 2326.5 บาทต่อเมตร

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบสอบถาม

ใช้สมการค่าเฉลี่ยของประชากรสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรได้ดังสมการที่ 2

$$\overline{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_{ij}}{N}; \quad j \in \{1,2,3,4\} \qquad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{N\overline{\mu} - \overline{\mu}^2}{N(N-1)}} \qquad (2)$$

เมื่อ X_{ij} แทน คะแนนจากความรู้สึกปลอดภัยในของราวกันตกที่ i จุดที่ j และ N แทน จำนวนผู้เข้าร่วมการทดลอง

หลังจากดำเนินการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างด้วยแบบสอบถาม ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์คะแนนความรู้สึกปลอดภัยของกลุ่มตัวอย่าง

ตำแหน่ง	แบบทางเลือก (Alternative)	Mean	σ
บริเวณโถงชั้น 2	ราวกันตกแบบที่ 1 (ความสูง 1.10 เมตร)	2.3	0.4
	ราวกันตกแบบที่ 2 (ความสูง 1.30 เมตร)	2.9	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 3 (ความสูง 1.40 เมตร)	3.4	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 4 (ความสูง 1.50 เมตร)	4.7	0.5
บริเวณบันไดระหว่างชั้น 3 และชั้น 4	ราวกันตกแบบที่ 1 (ความสูง 1.10 เมตร)	2	0.4
	ราวกันตกแบบที่ 2 (ความสูง 1.30 เมตร)	2.9	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 3 (ความสูง 1.40 เมตร)	3.5	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 4 (ความสูง 1.50 เมตร)	4.8	0.5
บริเวณบันไดระหว่างชั้น 4 และชั้น 5	ราวกันตกแบบที่ 1 (ความสูง 1.10 เมตร)	1.8	0.4
	ราวกันตกแบบที่ 2 (ความสูง 1.30 เมตร)	2.8	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 3 (ความสูง 1.40 เมตร)	3.6	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 4 (ความสูง 1.50 เมตร)	4.5	0.5
บริเวณบันไดระหว่างชั้น 5 และชั้น 6	ราวกันตกแบบที่ 1 (ความสูง 1.10 เมตร)	1.6	0.4
	ราวกันตกแบบที่ 2 (ความสูง 1.30 เมตร)	2.3	0.4
	ราวกันตกแบบที่ 3 (ความสูง 1.40 เมตร)	3.4	0.5
	ราวกันตกแบบที่ 4 (ความสูง 1.50 เมตร)	4.4	0.5

จากผลการสอบถาม แบบราวกันตกทั้ง 4 แบบ และจุดที่เก็บข้อมูลจะสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. **จุดที่ 1** ราวกันตกรูปแบบที่ 4 ให้ความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดด้วยคะแนน 4.7 คะแนน
2. **จุดที่ 2** ราวกันตกรูปแบบที่ 4 ให้ความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดด้วยคะแนน 4.8 คะแนน
3. **จุดที่ 3** ราวกันตกรูปแบบที่ 4 ให้ความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดด้วยคะแนน 4.5 คะแนน
4. **จุดที่ 4** ราวกันตกรูปแบบที่ 4 ให้ความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดด้วยคะแนน 4.4 คะแนน

3.5 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีเมทริกซ์ (Priority Matrix Analysis)

ในสภาวะที่ค่าวัสดุอุปกรณ์และแรงงานในการก่อสร้างมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การควบคุมต้นทุนการก่อสร้าง (Cost control) จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เครื่องมือในการวิเคราะห์คุณค่า (Value analysis tools and technique) จึงมีความสำคัญ เช่น Priority Matrix หรือ Importance weightings เนื่องจากคุณสมบัติแต่ละข้อมีความสำคัญต่อแนวทางการออกแบบไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้น้ำหนักกับคุณสมบัติแต่ละข้อตามความสำคัญ โดยการพิจารณาลำดับความสำคัญของคุณสมบัติรองและให้คะแนนตามความสำคัญจนครบ

เมื่อทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเมทริกซ์ ปัจจัยแรกจากผลการทดสอบที่ได้ คือค่าเฉลี่ยคะแนนของความรู้สึกปลอดภัยในทุก ๆ จุดที่ทำการวัด เป็นดังตารางที่ 3 โดยจะพิจารณาเฉพาะราวกันตกแบบที่ 2, 3 และ 4 เท่านั้น

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนความรู้สึกปลอดภัยโดยเฉลี่ยจากข้อมูลเชิงสถิติ

แบบทางเลือก	ระดับคะแนนความรู้สึกปลอดภัยโดยเฉลี่ย
ราวกันตกแบบที่ 2	2.725
ราวกันตกแบบที่ 3	3.475
ราวกันตกแบบที่ 4	4.600

ปัจจัยที่สองคือคำนึงถึงด้านต้นทุนโดยใช้ตัวแปรต้นทุนต่อหน่วย โดยพิจารณาจากการนำต้นทุนของแบบทางเลือกมาแปลงเป็นคะแนนโดยมีคะแนนตั้งแต่ 1-5 ให้แบบที่ 4 มีคะแนน 5 คะแนน เพราะฉะนั้นจะได้ว่า 1 คะแนนเทียบเท่ากับ 465.3 บาท/เมตร เพราะฉะนั้น แบบที่ 3 มีคะแนน 2.87 คะแนน และแบบที่2 มีคะแนน 2.68 คะแนน แต่คะแนนของต้นทุนนั้นเป็น Negative เราจึงแปลงโดยใช้วิธี inverse จะได้ว่า แบบที่4 มีคะแนน 5/5 = 1 คะแนน แบบที่ 3 มีคะแนน 5/2.87 = 1.74 คะแนน แบบที่2 มีคะแนน 5/2.68 = 1.87 คะแนน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนพิจารณาจากปัจจัยด้านต้นทุน

แบบทางเลือก	ระดับคะแนนการตัดสินใจในการลงทุน
ราวกันตกแบบที่ 2	1.870
ราวกันตกแบบที่ 3	1.740
ราวกันตกแบบที่ 4	1.000

ขั้นตอนถัดไปทำการถ่วงน้ำหนักคะแนนทั้งหมด 3 กรณีเพื่อประกอบการตัดสินใจของเจ้าของโครงการได้แก่

กรณี 1 ร้อยละคะแนนด้านความปลอดภัยต่อตัดสินใจลงทุน = 50:50

กรณี 2 ร้อยละคะแนนด้านความปลอดภัยต่อตัดสินใจลงทุน = 40:60

กรณี 3 ร้อยละคะแนนด้านความปลอดภัยต่อตัดสินใจลงทุน = 60:40

จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลคะแนนของเกณฑ์ในการพิจารณาในแต่ละกรณี (Criteria)

แบบทางเลือก	กรณี 1	กรณี 2	กรณี 3
ราวกันตกแบบที่ 2	2.070	2.032	2.113
ราวกันตกแบบที่ 3	2.610	2.434	2.781
ราวกันตกแบบที่ 4	2.800	2.440	3.160

ขั้นตอนถัดไปเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบบราวกันตกทีละแบบ ไปเรื่อย ๆ ด้วยวิธีทางเมทริกซ์ โดยให้คะแนนตามความสำคัญ โดยทางเลือกราวกันตกแบบใดที่ได้คะแนนมากกว่าจะได้คะแนนเป็นผลต่างของ

คะแนนระหว่างคู่เปรียบเทียบ หากทางเลือกใดเมื่อเปรียบเทียบคะแนนแล้วได้คะแนนน้อยกว่าจะไม่ได้รับคะแนน และ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีเมทริกซ์ซึ่งได้คะแนนดิบดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางคะแนนดิบ (Raw Score from Priority Matrix Analysis)

แบบทางเลือก	กรณี 1	กรณี 2	กรณี 3
ราวกันตกแบบที่ 2	0.000	0.000	0.000
ราวกันตกแบบที่ 3	0.535	0.402	0.668
ราวกันตกแบบที่ 4	0.920	0.374	1.426

3.6 การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่าแบบทางเลือกที่ได้คะแนนความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดคือแบบที่ 4 และแบบตัวเลือกที่ได้คะแนนด้านต้นทุนมากที่สุดคือแบบที่ 2 และเมื่อพิจารณาเรื่องความรู้สึกปลอดภัยกับเรื่องของต้นทุนร่วมกันโดยให้ความสำคัญของทั้ง 2 เรื่องเท่ากัน แบบที่เหมาะสมที่สุดคือแบบที่ 4 แต่เมื่อให้ความสำคัญกับเรื่องของต้นทุนมากกว่าแบบที่เหมาะสมที่สุดคือแบบที่ 3 และเมื่อให้ความสำคัญกับเรื่องของความรู้สึกปลอดภัยมากกว่า แบบที่เหมาะสมที่สุดคือ แบบที่ 4

จากผลสรุปดังกล่าว สามารถวิเคราะห์ได้ว่า รูปแบบที่ดีที่สุดอาจจะเป็นรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นราวกันตกระดับความสูง 1.50 เมตร โดยมีราวจับเพิ่มขึ้นมา 2 ราว อย่างไรก็ตามเจ้าของโครงการจะพิจารณาใช้รูปแบบใดในการเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้างก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และวิจารณญาณของเจ้าของโครงการเอง

4. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดของการวิจัย

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานปัญหาการออกแบบงานก่อสร้างในปัจจุบันที่มิได้คำนึงถึงความรู้สึก (Feeling) ของผู้ใช้งาน ทำให้งานดังกล่าวจำเป็นต้องมีคำสั่งเปลี่ยนแปลงงาน (Variation Order) และอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในภายหลังได้

ผู้จัดทำจึงมีวัตถุประสงค์จัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเห็นว่าเทคโนโลยีจำลองภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) โดยใช้กระบวนการของ BIM มาเกี่ยวข้องโดยการพัฒนาแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Revit 2019 ประกอบกับ Enscape และ StreamVR สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์สวมศีรษะร่วมกับคอมพิวเตอร์ สามารถวิเคราะห์ปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยและประมวลผลออกมาเป็นคะแนนเฉลี่ยดิบ (Raw Score) จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน โดยสถานที่ก่อสร้างที่นำมาทดลอง เป็นสถานที่ก่อสร้างที่เกิดข้อผิดพลาดในการก่อสร้างขึ้นจริงจากความรู้สึกของเจ้าของโครงการหลังจากได้ดำเนินการสร้างไปแล้ว

จากนั้นทางผู้จัดทำนำมาวิเคราะห์ประกอบกับปัจจัยด้านราคากล่าวคือพิจารณาด้านคะแนนการตัดสินใจในการเลือกซื้อโดยพิจารณาจากต้นทุนต่อหน่วยโดยวิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเมทริกซ์ (Matrix Analysis) เปรียบเทียบน้ำหนักคะแนนในกรณีต่าง ๆ เพื่อเจ้าของโครงการประกอบการตัดสินใจในการเลือกแบบราวกันตกว่าต้องการเลือกแบบใด

ดังที่ได้กล่าวมานี้เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) และ Virtual Reality (VR) มีความเชื่อถือสำหรับการตัดสินใจในช่วงวัฏจักรการก่อสร้าง (Life Cycle) ตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบไปจนถึงการวางแผนที่จะรื้อถอนได้จริง เนื่องจากเป็นตัวแทนแบบดิจิตอลของลักษณะทางกายภาพและการทำงานของสิ่งอำนวยความสะดวก BIM จึงเป็นแหล่งความรู้ที่ใช้ร่วมกันสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งอำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง

4.2 ข้อเสนอแนะ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาจากกรณีศึกษาเพียงกรณีเดียวเท่านั้น โดยการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงให้มากขึ้น อาจทำได้โดยใช้วิธีการในการทดสอบเดียวกันนี้ กับกรณีศึกษาอื่น

4.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องด้วยผลกระทบจากภาวะการแพร่ระบาดของเชื้อชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ไม่สามารถไปทำแบบสอบถามกับผู้ใช้งานจริงได้ ส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างที่ทำการสำรวจไม่ใช่กลุ่มผู้ใช้งานจริง และมีจำนวนเพียง 10 คนซึ่งอาจทำให้กลุ่มตัวอย่างมีจำนวนผู้เข้าร่วมน้อยเกินไปสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาปรึกษา แนะนำการทำโครงงานวิจัยตั้งแต่เริ่มแรก จนถึงตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทั้งหมดให้

ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทที่ปรึกษาโครงการก่อสร้าง และผู้ที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเข้าทำวิจัยที่โครงการก่อสร้าง รวมถึงการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในทุก ๆ ด้านจนสำเร็จการทำวิจัยที่โครงการนั้น

ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว รวมถึงเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ของผู้วิจัยที่ได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างที่เสียสละเวลามาเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่งเนื่องจากผลอันเนื่องมาจากภาวะการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้การทำแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างรวมไปถึงดำเนินการวิจัยเป็นไปด้วยความยากลำบาก ทำให้งานวิจัยดังกล่าวดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐากูร สุวรรณสุขุม. 2556. กฎหมายข้อบังคับ และมาตรฐานเรื่อง ความปลอดภัยในอาคาร เรื่อง ทางหนีไฟ และบันไดหนีไฟ. พิมพ์ครั้งที่ 1. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://baiibua.blogspot.com/2013/02/blog-post.html (วันที่สืบค้นข้อมูล: 20 พฤษภาคม 2563)

[2] สถาบันสถาปนิกสยาม. 2558. “คู่มือปฏิบัติวิชาชีพแนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับประเทศไทย”. พิมพ์ครั้งที่ 1., กรุงเทพฯ, บริษัทพลัสเพรส จำกัด.

[3] นายณัฐพล ศิระสิริกุล. 2559. ระบบการนำเสนอแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อช่วยในการสื่อสารด้วยระบบความจริงเสมือนแบบมีปฏิสัมพันธ์, หน้า 17., วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์