แนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูง โดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

นายพีชณัฐ วีรเวทวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A DESIGN GUIDELINE OF FALL PROTECTION SYSTEMS IN HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION USING VIRTUAL ENVIRONMENT TECHNOLOGY

Mr. Peechanut Weerawetwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูง โดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
โดย	นายพีชณัฐ วีรเวทวัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล สุธีจารุวัฒน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์)

พีชณัฐ วีรเวทวัฒน์ : แนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (A DESIGN GUIDELINE OF FALL PROTECTION SYSTEMS IN HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION USING VIRTUAL ENVIRONMENT TECHNOLOGY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. นพดล จอกแก้ว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน, 162 หน้า.

จากข้อมูลสถิติด้านอุบัติเหตุจากการทำงานพบว่า การตกจากที่สูงมีผู้เสียชีวิตสูงที่สุด โดยในปัจจุบันการออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูง มักออกแบบตามมาตรฐานความปลอดภัยเท่านั้น แต่ไม่คำนึงถึงความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง ได้แก่ ความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานในงานก่อสร้างอาคารสูง

การวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเครื่องมือ 3 ประเภทสำหรับวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อราวกันตก ได้แก่ 1) ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะของราวกันตก 2) ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง และ 3) เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยทดสอบกับคนงานก่อสร้างจำนวน 10 ราย พบว่าเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง มีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากที่สุด และจากกรณีศึกษาการออกแบบรูปแบบราวกันตกโดยพิจารณาจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ต้นทุน 2) ความรู้สึกปลอดภัย และ 3) ความรู้สึกสะดวกในการทำงานของคนงานก่อสร้าง โดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง จากผลของการวิจัยพบว่าสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการออกแบบระบบป้องกันการตกโดยสามารถพิจารณาจากปัจจัยทั้งทางด้านต้นทุนและความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานในงานก่อสร้างอาคารสูง

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา....วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5170411221: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : HIGH-RISE BUILDING, CONSTRUCTION, FALL PROTECTION, VIRTUAL ENVIRONMENT

PEECHANUT WEERAWETWAT : A DESIGN GUIDELINE OF FALL PROTECTION SYSTEMS IN HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION USING VIRTUAL ENVIRONMENT TECHNOLOGY. ADVISOR: ASST. PROF. NOPPADON JOKKAW, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. PRAMUAL SUTEECHARUWAT, Ph.D.,162 pp.

According to the information of accidents, fall from height makes the highest death of construction workers. Nowadays, the design standards were considered for design of fall protection system. However, the workers' feeling may affect to efficiency of construction works such as safety and convenient feeling. The objective of this research is to propose a design guideline of fall protection systems by considering workers' feeling.

In this research, the three types of feeling measurement tool were applied for construction workers' feeling measurement, such as 1) two-dimensional pictures with size and characteristics of guardrails 2) two-dimensional pictures with size of guardrails compared with workers' size 3) guardrails simulated by a virtual environment tool. The results of feeling measurement from 10 construction workers showed that virtual environment tool is the most effective tool for construction workers' feeling measurement. From a case study, the design of guardrails was considered under 3 factors, such as 1) cost of guardrails 2) safety feeling of workers, and 3) convenient feeling of workers measured by using the virtual environment tool. The results of this research showed that the virtual environment tool can be applied for design of fall protection systems by considering cost, safety feeling and convenient feeling of workers in high-rise building construction.

Department :….Civil Engineering…… Student's Signature…….……

Field of Study :..Civil Engineering…… Advisor's Signature……..……..

Academic Year :....2011…….…….. Co-Advisor's Signature…….……

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำ ความร่วมมือ และกำลังใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล สุธีจารุวัฒน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำด้านเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และให้คำปรึกษาด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ และ ดร.กองกูณฑ์ โตชัยวัฒน์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าช่วยให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทเอกชนและผู้รับเหมาทั้งหลายที่เสียสละเวลาให้ความร่วมมือให้ข้อมูล และอำนวยความสะดวกด้วยการจัดหาคนงานก่อสร้างเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนกำลังใจจากเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่านที่มิได้กล่าวมาไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ และคอยสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 3

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 ผลของระดับความสูงต่อผู้ปฏิบัติงาน 10

2.2 ความปลอดภัย และอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง 12

2.3 เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 16

2.4 กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้างที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน 22

2.5 สรุปท้ายบท 23

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24

3.2 การคัดเลือกรูปแบบของระบบป้องกันการตกบนอาคารสูง 27

3.3 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 28

3.4 การพัฒนาแบบจำลองกราฟิก 3 มิติสำหรับพัฒนาเครื่องมือทดสอบ 29

หน้า

3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล 30
3.5.1 การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 30
3.5.2 การวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสม 32
3.6 สรุปท้ายบท 42
บทที่ 4 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 43
4.1 การพิจารณารูปแบบราวกันตกที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 43
4.2 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 45
4.2.1 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก 45
4.2.2 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง 47
4.2.3 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 50
4.3 การวัดความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อรูปแบบราวกันตก 57
4.3.1 การพัฒนาแบบสอบถามในการวัดความรู้สึก 57
4.3.2 ขั้นตอนการวัดความรู้สึก 59
4.3.3 วิธีการวัดความรู้สึก 60
4.4 สรุปท้ายบท 62
บทที่ 5 การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 64
5.1 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 65
5.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 67
5.3 สรุปท้ายบท 72

หน้า

บทที่ 6 กรณีศึกษาการออกแบบระบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง
โดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน 74
6.1 กำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบ 74
6.1.1 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ 74
6.1.2 องค์ประกอบในการพิจารณา 74
6.1.3 ทางเลือกในการตัดสินใจ 76
6.2 กำหนดความสำคัญในแต่ละระดับชั้น 77
6.2.1 วิธีการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญ 77
6.2.2 ผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัจจัยสำหรับออกแบบ
ราวกันตก 81
6.3 การสังเคราะห์ผลการตัดสินใจ 89
6.4 สรุปแนวทางการออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้
เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 92
6.5 สรุปท้ายบท 95
บทที่ 7 บทสรุป 96
7.1 สรุปผลการวิจัย 96
7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 99
7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการประยุกต์ใช้ 100
รายการอ้างอิง 101
ภาคผนวก 104
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้ประเมิน 105
ภาคผนวก ข แบบสอบถามสำหรับประเมินปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ 107
ภาคผนวก ค แบบสอบถามสำหรับวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 110
ภาคผนวก ง ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักปัจจัยของผู้ที่มีประสบการณ์ด้าน
ความปลอดภัย 115

หน้า

ภาคผนวก จ ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 122
ภาคผนวก ฉ การประมาณราคาของราวกันตกรูปแบบต่างๆ จากราคากลาง งานก่อสร้างปี 2555 133
ภาคผนวก ช กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้าง 138
ภาคผนวก ซ ตัวอย่างขั้นตอนการสร้างโมเดลสามมิติด้วยโปรแกรม 3D Studio Max 2010 147
ภาคผนวก ฌ ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองสถานที่ก่อสร้างบนเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE) 151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 162

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและประเภทกิจการ ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551 2
ตารางที่ 1.2 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและประเภทกิจการ ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551 2
ตารางที่ 1.3 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและสาเหตุที่ประสบอันตราย ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551 3
ตารางที่ 3.1 ชุดตัวเลข 1-9 ของวิธี AHP 34
ตารางที่ 3.2 แบบสอบถามการประเมินเปรียบเทียบรายคู่ 35
ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยของดัชนีเชิงสุ่มในแต่ละเมตริกซ์ n x n 40
ตารางที่ 4.1 รูปแบบตารางให้คะแนนความรู้สึก 59
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างคะแนนความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง สำหรับแบบทดสอบที่ 1 65
ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 1 67
ตารางที่ 5.3 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 2 68
ตารางที่ 5.4 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 3 68
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายข้อมูล 69
ตารางที่ 6.1 ตารางการเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 78
ตารางที่ 6.2 ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบ 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 และผลรวมแนวตั้ง 78
ตารางที่ 6.3 ตารางเมตริกซ์แสดงค่าเฉลี่ย ผลรวมแถวนอน และลำดับความสำคัญของผู้ประเมินคนที่ 1 79
ตารางที่ 6.4 ตารางแสดงการหาผลรวมเพื่อหาความสอดคล้องกันของเหตุผลของผู้ประเมินคนที่ 1 79

หน้า

ตารางที่ 6.5 ลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยของผู้ประเมินทั้ง 6 คน 80
ตารางที่ 6.6 ลำดับความสำคัญใหม่ของแต่ละปัจจัยของผู้ประเมินทั้ง 6 คน และลำดับความสำคัญเฉลี่ย 82
ตารางที่ 6.7 ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบราวกันตกทั้ง 6 แบบภายใต้ปัจจัยด้านต้นทุน..... 83
ตารางที่ 6.8 ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย 84
ตารางที่ 6.9 ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน..... 86
ตารางที่ 6.10 ลำดับความสำคัญจำแนกตามปัจจัยของราวกันตกทั้ง 6 แบบ..... 87
ตารางที่ 6.11 ลำดับความสำคัญรวมของการตัดสินใจเลือกรูปแบบราวกันตกทั้ง 6 แบบ..... 89
ตารางที่ ก.1 ผู้ประเมินปัจจัยในการออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง..... 106
ตารางที่ ง.1 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 116
ตารางที่ ง.2 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 116
ตารางที่ ง.3 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 116
ตารางที่ ง.4 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2 117
ตารางที่ ง.5 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2 117
ตารางที่ ง.6 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2 117
ตารางที่ ง.7 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 3 118
ตารางที่ ง.8 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 3 118
ตารางที่ ง.9 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 3 118
ตารางที่ ง.10 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4 119
ตารางที่ ง.11 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4 119
ตารางที่ ง.12 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4 119

หน้า

ตารางที่ ง.13 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัย ของผู้ประเมินคนที่ 5 120
ตารางที่ ง.14 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 5 120
ตารางที่ ง.15 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 5 120
ตารางที่ ง.16 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัย ของผู้ประเมินคนที่ 6 121
ตารางที่ ง.17 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 6 121
ตารางที่ ง.18 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 6 121
ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 1 123
ตารางที่ จ.2 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 2 124
ตารางที่ จ.3 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 3 125
ตารางที่ จ.4 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 4 126
ตารางที่ จ.5 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 5 127
ตารางที่ จ.6 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 6 128
ตารางที่ จ.7 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 7 129
ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 8 130
ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 9 131
ตารางที่ จ.10 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 10 132

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ความเป็นจริงเสมือนแบบรับสัมผัสเต็มรูปแบบ (Fully-immersive VR) 17

ภาพที่ 2.2 ความเป็นจริงเสมือนแบบสัมผัสบางส่วนหรือกึ่งรับสัมผัส (Semi-immersive VR) 18

ภาพที่ 2.3 ความเป็นจริงเสมือนแบบผ่านจอภาพ (Non-immersive VR หรือ Desktop VR)..... 19

ภาพที่ 2.4 อุปกรณ์ HMD..... 21

ภาพที่ 2.5 ภาพจำลองเครื่องมือ CAVE..... 22

ภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 26

ภาพที่ 3.2 ราวกันตกแบบแนวนอน ราวบนและราวกลาง 27

ภาพที่ 3.3 ราวกันตกแบบแนวนอน ระยะห่างระหว่างราว 30 เซนติเมตร..... 27

ภาพที่ 3.4 ราวกันตกแบบตะแกรง ช่องขนาด 25 x 25 เซนติเมตร 28

ภาพที่ 3.5 แผนภาพโครงสร้างทั่วไปของวิธี AHP..... 33

ภาพที่ 3.6 เมตริกซ์การเปรียบเทียบเป็นรายคู่..... 34

ภาพที่ 3.7 แผนภาพสรุปขั้นตอนของวิธี AHP..... 36

ภาพที่ 4.1 ราวกันตกแบบราวบนและราวกลาง 43

ภาพที่ 4.2 ราวกันตกแบบราวบนและราวกลางสองแถว 44

ภาพที่ 4.3 ราวกันตกแบบตะแกรง 44

ภาพที่ 4.4 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 1 45

ภาพที่ 4.5 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 2 46

ภาพที่ 4.6 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 3 46

ภาพที่ 4.7 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 4 46

ภาพที่ 4.8 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 5 47

ภาพที่ 4.9 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 6 47

ภาพที่ 4.10 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 1 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 48

หน้า

ภาพที่ 4.11 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 2 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 48
ภาพที่ 4.12 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 3 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 49
ภาพที่ 4.13 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 4 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 49
ภาพที่ 4.14 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 5 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 50
ภาพที่ 4.15 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 6 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน 50
ภาพที่ 4.16 ส่วนประกอบของเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE) 51
ภาพที่ 4.17 แบบจำลองกราฟิกสถานที่ก่อสร้างอาคารสูง..... 53
ภาพที่ 4.18 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 1 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 54
ภาพที่ 4.19 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 2 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 55
ภาพที่ 4.20 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 3 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 55
ภาพที่ 4.21 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 4 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 56
ภาพที่ 4.22 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 5 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 56
ภาพที่ 4.23 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 6 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง..... 57
ภาพที่ 4.24 การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยภาพสองมิติ 61
ภาพที่ 4.25 การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อม
เสมือนจริง 62
ภาพที่ 5.1 การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์
การกระจาย 66
ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลด้านความรู้สึกปลอดภัย 70
ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลด้านความสะดวกในการทำงาน..... 71
ภาพที่ 5.4 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลรวมทั้ง 2 ปัจจัย 72
ภาพที่ 6.1 แผนภาพสำหรับการเลือกรูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง
อาคารสูง..... 77
ภาพที่ 6.2 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบราวกันตกในการก่อสร้างอาคารสูง 82
ภาพที่ 6.3 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยต้นทุน..... 84

หน้า

ภาพที่ 6.4 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย 85
ภาพที่ 6.5 ค่าลำดับความสำคัญเฉลี่ยของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย 85
ภาพที่ 6.6 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน 86
ภาพที่ 6.7 ค่าลำดับความสำคัญเฉลี่ยของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน 87
ภาพที่ 6.8 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของราวกันตกจำแนกตามปัจจัย 3 ปัจจัย 88
ภาพที่ 6.9 ลำดับความสำคัญของราวกันตกจำแนกตามปัจจัย เมื่อคูณกับค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย 90
ภาพที่ 6.10 ลำดับความสำคัญรวมของทางเลือกในการออกแบบราวกันตก 92
ภาพที่ 6.11 สรุปขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 94

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างถือเป็นอุตสาหกรรมสำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งที่ช่วยขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่มักคำนึงถึงต้นทุนการก่อสร้างเป็นหลัก เพื่อที่ให้ได้ดำเนินงานโครงการ และคาดหวังที่จะได้การกำไรสูง โดยการลดต้นทุนให้ได้มากที่สุด จนทำให้ผู้ประกอบการบางรายขาดความตระหนักถึงความปลอดภัยที่อาจเกิดขึ้นแก่คนที่ทำงานในสถานที่ก่อสร้างได้

อุตสาหกรรมก่อสร้างมีสถิติของอุบัติเหตุเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น เนื่องจากว่าโครงการก่อสร้างมีลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้าน ชนิด ขนาด สถานที่ สิ่งแวดล้อม และวิธีการก่อสร้างอยู่เสมอ ต่างจากอุตสาหกรรมประเภทอื่น ที่มักเป็นไปในรูปแบบเดิม และมีลักษณะงานซ้ำกัน จึงทำให้ผู้ประกอบการและผู้ปฏิบัติการสามารถแก้ไขข้อบกพร่องและรู้สาเหตุของปัญหาได้ ในทางตรงกันข้ามผู้รับเหมาก่อสร้างมักต้องปรับปรุงแก้ไขระบบงานให้เป็นไปตามสภาพของงานที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (สันติ ชินานุวัติวงศ์, 2549)

ข้อมูลสถิติของปี 2551 จากตารางที่ 1.1 พบว่า ประเภทกิจการการก่อสร้างมีผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยในการทำงานสูงเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับประเภทกิจการอื่นคิดเป็นร้อยละ 8.62 ของจำนวนผู้ประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยในการทำงานทั้งหมด และเมื่อพิจารณาตามความรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต จากตารางที่ 1.2 พบว่า ประเภทกิจการการก่อสร้างยังคงมีผู้เสียชีวิตสูงเป็นอันดับหนึ่ง คิดเป็นร้อยละ 13.54 ของจำนวนผู้เสียชีวิตจากการทำงานทั้งหมด

จากข้อมูลสถิติแสดงให้เห็นว่าถึงแม้มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำงาน การประกันสังคมและการคุ้มครองแรงงานได้มีผลบังคับใช้ แต่กิจการก่อสร้างก็ยังคงมีอัตราการประสบอันตรายที่ค่อนข้างสูงอันเนื่องมาจากผู้ประกอบการขาดความใส่ใจในด้านความปลอดภัยและมีความประมาท หรือรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของคนงานก่อสร้าง

ตารางที่ 1.1 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและประเภทกิจการ ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551

ประเภทกิจการ	ความรุนแรง					รวม
	ตาย	ทุพพลภาพ	สูญเสียอวัยวะบางส่วน	ทำงานไม่ได้ชั่วคราว		
				หยุดงานเกิน 3 วัน	หยุดงานไม่เกิน 3 วัน	
1. การก่อสร้าง	83	1	130	3,334	11,659	15,207
2. การผลิตเครื่องดื่ม อาหาร ฯลฯ	24	-	132	2,970	6,736	9,862
3. การค้าเครื่องไฟฟ้า ยานพาหนะ	57	3	60	2,497	6,811	9,428
4. การหล่อหลอม กลึงโลหะ	10	-	171	1,832	6,281	8,294
5. การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก	7	-	185	1,921	5,726	7,839

ที่มา : สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน

หมายเหตุ : เรียงตามลำดับความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุ 5 ลำดับแรก

ตารางที่ 1.2 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและประเภทกิจการ ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551

ประเภทกิจการ	ความรุนแรง					รวม
	ตาย	ทุพพลภาพ	สูญเสียอวัยวะบางส่วน	ทำงานไม่ได้ชั่วคราว		
				หยุดงานเกิน 3 วัน	หยุดงานไม่เกิน 3 วัน	
1. การก่อสร้าง	83	1	130	3,334	11,659	15,207
2. ขนส่งสินค้าผู้โดยสารทางรถยนต์	68	3	37	1,224	2,116	3,448
3. การค้าเครื่องไฟฟ้า ยานพาหนะ	57	3	60	2,497	6,811	9,428
4. ร้านสรรพสินค้า สินค้าเบ็ดเตล็ด	35	-	29	1,409	4,247	5,720
5. การผลิตเครื่องดื่ม อาหาร ฯลฯ	24	-	132	2,970	6,736	9,862

ที่มา : สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน

หมายเหตุ : เรียงตามลำดับความรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต 5 ลำดับแรก

จากการศึกษาของสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (2542) ผลของการเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน ส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ใน 2 แนวทาง แนวทางแรกคือ ผลเสียหายที่ปรากฏชัดเจนซึ่งเป็นผลเสียหายที่เกิดขึ้นต่อชีวิตและทรัพย์สิน ที่สามารถคิดออกมาเป็นค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน เช่นค่ารักษาพยาบาล เงินทดแทน ค่าทำขวัญ ค่าทำศพและค่าประกันชีวิตค่าความเสียหายของทรัพย์สินเนื่องจากไฟไหม้ การพังทลายของอาคารและเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้นและแนวทางที่สองคือ ผลเสียหายทางอ้อมเป็นผลเสียหายที่ไม่ปรากฏให้เห็นเด่นชัด เช่นการสูญเสียเวลาในการหยุดงานเนื่องจากอุบัติเหตุ ค่าจ้างแรงงานของผู้บาดเจ็บ การสูญเสียภาพพจน์ชื่อเสียงหน่วยงานเป็นต้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายจากการทำงาน จากตารางที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่า สาเหตุเนื่องจากการตกจากที่สูงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตมากที่สุด และเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนของผู้เสียชีวิตต่อผู้ประสบอุบัติเหตุในสาเหตุต่างๆ แล้ว การตกจากที่สูงมีโอกาสเสียชีวิตมากที่สุด

ตารางที่ 1.3 สถิติการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน จำแนกตามความรุนแรงและสาเหตุที่ประสบอันตราย ภาพรวมทั่วประเทศ ปี 2551

สาเหตุที่ประสบอันตราย	ความรุนแรง					รวม
	ตาย	ทุพพลภาพ	สูญเสียอวัยวะบางส่วน	ทำงานไม่ได้ชั่วคราว		
				หยุดงานเกิน 3 วัน	หยุดงานไม่เกิน 3 วัน	
1. ตกจากที่สูง	85	3	54	3,619	5,113	8,874
2. วัตถุหรือสิ่งของพังทลาย / หล่นทับ	32	-	931	9,057	12,486	22,506
3. วัตถุหรือสิ่งของกระแทก / ชน	21	3	461	7,570	21,829	29,884
4. วัตถุหรือสิ่งของหนีบ / ดึง	13	-	855	4,977	6,116	11,961
5. วัตถุหรือสิ่งของตัด / บาด / ทิ่มแทง	2	-	628	11,026	29,846	41,502

ที่มา : สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน

หมายเหตุ : เรียงตามลำดับความรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต

ส่วนใหญ่การป้องกันอันตรายในสถานที่ทำงาน ผู้ประกอบการมักคำนึงถึงเฉพาะการออกแบบป้องกันให้ได้ตามหลักมาตรฐานความปลอดภัย แต่ไม่ได้คำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้างโดยเฉพาะงานทางด้านอาคารสูง ในด้านความเพียงพอของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในความปลอดภัยที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้สึกสามารถทำงานได้ด้วยความปลอดภัย ซึ่งถ้าผู้ปฏิบัติงานรู้สึกวิตกกังวล รู้สึกว่างานที่ตนทำอยู่นั้นยังมีความเสี่ยงสูง ทั้งที่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ป้องกัน อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีระดับความสามารถในการทำงานนั้นลดลง ทำให้การทำงานล่าช้าหรือไม่ได้คุณภาพ เกิดอุบัติเหตุในการทำงาน หรือลาหยุดจากงานได้

ในการวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานในด้านความปลอดภัยบนอาคารสูง ซึ่งถ้าผู้ปฏิบัติงานเกิดความกังวลทางด้านความปลอดภัยในการทำงาน อาจส่งผลเสียต่องานที่ทำ และมีโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุในงานได้ และถ้าผู้ปฏิบัติงานพลาดพลั้งตกจากที่สูงอาจมีโอกาสสูงมากที่จะเสียชีวิต ซึ่งเป็นการสูญเสียที่รุนแรงที่สุด หรืออาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง จึงมีแนวคิดในการหาวิธีป้องกันที่เหมาะสมกับงานอาคารสูงให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุน้อยที่สุด และทำให้ผู้ปฏิบัติงานรู้สึกว่ามีความปลอดภัย ทำให้ลดความวิตกกังวลของผู้ปฏิบัติงานลงไปได้

ซึ่งการวัดความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน จำเป็นต้องให้ผู้ปฏิบัติงานรับรู้ถึงความรู้สึกเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจริง และเพื่อต้องการทราบถึงการป้องกันที่เหมาะเหมาะสม และช่วยลดความเสี่ยงในอันตรายลงได้ โดยการศึกษาวิธีการป้องกัน บางครั้งทำให้งานสำเร็จได้ตามการดำเนินงานตามกฎหมายความปลอดภัยด้วยค่าใช้จ่ายและข้อผิดพลาดที่คิดเป็นราคาสูง อีกทั้งทักษะการตัดสินใจเป็นการยากที่จะสอนตามทฤษฎี (Eddy M. Rojas, 2000) โดยในทางปฏิบัติควรทดสอบให้เห็นจริง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่นำสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบผลการตัดสินใจในแบบต่างๆ และอุบัติเหตุที่อาจเกิด โดยไม่เป็นการเสี่ยงอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีที่ทำให้การจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง มีชื่อว่า Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แสดงผลเพื่อจำลองสภาพแวดล้อม

เสมือนจริง เนื่องจากอุปกรณ์ CAVE สามารถให้ผู้ใช้งานได้เห็นสภาพแวดล้อมเป็นสามมิติที่มีขนาดใหญ่เท่าของจริงได้ (อัตราส่วน 1:1) ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเกิดความรู้สึกเหมือนได้อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นจริงและรับรู้ถึงความรู้สึกจริง (Messner et.al. , 2003) ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงชนิดนี้ (CAVE) ในการวัดความรู้สึกของคนงานในการวิจัยเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ คือ ต้องการวัดความรู้สึกของคนงานโดยไม่เป็นการเสี่ยงอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสำหรับวัดความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดขอบเขตของงานวิจัยได้ดังนี้

1) ศึกษาเฉพาะงานก่อสร้างอาคารสูง

2) ศึกษาเฉพาะระบบป้องกันการตกจากที่สูง โดยเฉพาะราวกันตก (Guardrail) เท่านั้น

3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ในงานวิจัยนี้คือ Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) ซึ่งตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการระบบผลิตเสมือนจริง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ขั้นตอนการค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาจากเอกสาร ได้แก่

- เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานความปลอดภัยและอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง

- เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงานอาคารสูง
- เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

1.4.2 ขั้นตอนการค้นคว้าเอกสารเพื่อคัดเลือกรูปแบบราวกันตกที่ใช้ในการป้องกันอุบัติเหตุและสภาพแวดล้อมการทำงานในงานก่อสร้างอาคารสูง เพื่อมาใช้จำลองในเครื่องมือสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

1.4.3 ขั้นตอนการศึกษาวิธีการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบกราฟิก สามมิติ
- ศึกษาขั้นตอนในการพัฒนาซอฟแวร์คอมพิวเตอร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- ศึกษาการใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE)

1.4.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ได้แก่

- เก็บรายละเอียดภาพและองค์ประกอบของภาพจากสถานที่ก่อสร้าง และระบบราวกันตกแบบต่างๆ
- พัฒนาและสร้างงานกราฟิกจากข้อมูลภาพ เพื่อจำลองสถานที่เสมือนจริงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- นำแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาทำการแปลงข้อมูลเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงบนเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE)

1.4.5 ขั้นตอนการทดสอบและประเมินผลในลักษณะจำลองแบบต่างๆ

- พัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 3 แบบคือ

1) แบบทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก

2) แบบทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง

3) แบบทดสอบโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

- ทำการศึกษาพร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบสอบถามกึ่งสัมภาษณ์โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจวัดความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานอาคารสูงด้วยการจำลองใช้ระบบราวกันตกหลายรูปแบบ
- คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างของผู้ปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการศึกษาอย่างน้อย 10 ราย
- นำกลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบความรู้สึกในด้านความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานที่มีราวกันตกรูปแบบต่างๆ ด้วยเครื่องมือทดสอบทั้ง 3 แบบ
- นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการทดสอบทั้ง 3 แบบ และคัดเลือกผลการทดสอบแบบที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานมากที่สุด
- วิเคราะห์ผลการทดสอบความรู้สึกจากเครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานมากที่สุดรวมกับน้ำหนักปัจจัยจากการประเมินของผู้มีประสบการณ์ ได้รูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

1.4.6 จัดทำกรณีศึกษาการออกแบบราวกันตกจากที่สูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานของคนงานก่อสร้าง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบการป้องกันการตกจากที่สูงดังต่อไปนี้

- ศึกษาปัจจัยที่ใช้สำหรับออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูง

- ศึกษาน้ำหนักของปัจจัยจากผู้มีประสบการณ์ด้านความปลอดภัย ได้แก่ ปัจจัยต้นทุน ปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยความสะดวกในการทำงาน
- วิเคราะห์ผลการออกแบบโดยใช้วิธี Analytic Hierarchy Process (AHP)

1.4.7 ขั้นตอนการสรุปผลและจัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์

- สรุปผลและเปรียบเทียบถึงเครื่องมือทดสอบ และรูปแบบราวกันตก
- สรุปขั้นตอนเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือป้องกันการตกจากที่สูงโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
- ทำการสรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบราวกันตก เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบราวกันตกในอนาคต

1.5.2 เป็นแนวทางในการการออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูงในงานก่อสร้างโดยคำนึงถึงความรู้สึกของคนงาน โดยใช้เครื่องมือในการวัดความรู้สึกของคนงานแทนการทดสอบจริง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการศึกษาด้านการนำเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง พบว่ามีการนำไปใช้ในขั้นตอนของการออกแบบการก่อสร้าง การจัดวางผังงานก่อสร้าง หรือใช้ในการอธิบายขั้นตอนการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ จากการศึกษายังไม่พบว่ามีการนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษา หรือการวางแผนทางด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

ในการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนั้น ผู้สร้างจำเป็นต้องมีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์พอสมควรอันได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการสร้างภาพกราฟิกสามมิติ และความรู้ทางด้านภาษาคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้ปัจจุบันการศึกษาในเรื่องการนำแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างมีผู้ศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำเกี่ยวกับงานก่อสร้างยังไม่แพร่หลาย ซึ่งเทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงอาจมีประโยชน์สำหรับการนำมาใช้ในการพัฒนาการดำเนินงานก่อสร้าง โดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึก เช่น เรื่องความปลอดภัยในการทำงานในอาคารสูง

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎี แนวความคิด ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย และเป็นกรอบในการอ้างอิง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มได้ดังนี้

1. ผลของระดับความสูงต่อผู้ปฏิบัติงาน
2. อุบัติเหตุในงานก่อสร้าง
3. เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
4. กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้างที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกลุ่มมีดังนี้

2.1 ผลของระดับความสูงต่อผู้ปฏิบัติงาน

ความสูงนับได้ว่าเป็นปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานที่สำคัญของการก่อสร้างอาคารสูงที่ส่งผลต่อผู้ปฏิบัติงานบนอาคารสูงโดยตรง ส่งผลต่อความสามารถในการปฏิบัติงานของบุคคล ซึ่งแมคคอร์มิค และอิลเจน (McCormick and Ilgen, 1980; อ้างถึงในเขมารดี มาสิงบุญ, 2535) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการปฏิบัติงานไว้ ดังนี้

1) ปัจจัยด้านบุคคล ได้แก่ ลักษณะที่แสดงความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล ซึ่งแตกต่างกันออกไป ส่งผลให้บุคคลมีพฤติกรรมการทำงานที่แตกต่างกัน โดยปัจจัยด้านบุคคลนี้สามารถแบ่งเป็นด้านย่อยๆ คือ

1.1) ปัจจัยจากภายในบุคคล เป็นสาเหตุภายในที่ผลักดันให้แต่ละบุคคลแสดงความสามารถในการปฏิบัติงานออกมา ได้แก่ ความถนัด ลักษณะทางบุคลิกภาพ ลักษณะทางกายภาพ ความสนใจ แรงจูงใจ อายุ เพศ ความเชื่อ ค่านิยม เป็นต้น

1.2) ปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม เป็นส่วนช่วยพัฒนาความสามารถที่มีอยู่ให้เพิ่มขึ้น ได้แก่ การศึกษา การฝึกอบรม ประสบการณ์ เป็นต้น

2) ปัจจัยด้านสถานการณ์ หมายถึง เงื่อนไขทางเหตุการณ์ หรือลักษณะของสิ่งแวดล้อมนอกตัวบุคคล ที่มีผลต่อการแสดงความสามารถในการปฏิบัติงาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1) ตัวแปรทางกายภาพและงาน ได้แก่สิ่งที่เกี่ยวกับการปฏิบัติงาน เช่น วิธีการทำงาน สภาพเครื่องมือเครื่องใช้ในงาน สภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงาน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจ สร้างแรงจูงใจในการปฏิบัติงาน

2.2) ตัวแปรทางองค์การและสังคม เช่น โครงสร้างขององค์การการปกครองบังคับบัญชา เป็นต้น (นพพงษ์ บุญจิตราดุลย์, 2527)

อนามัย เทศกะทึก (2551) กล่าวว่าผู้ประกอบอาชีพจำนวนมากในปัจจุบัน ที่ต้องเผชิญกับปัญหารอบด้าน เช่น การเปลี่ยนแปลงที่พักอาศัย จากที่เคยมีความเป็นอยู่อย่างสบายต้องมาอยู่แออัด ลักษณะของงานที่ทำอาจไม่พึงพอใจนัก และการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในการ

ทำงานใหม่ อาจมีสภาพที่ไม่เหมาะสม นอกจากนั้นผู้ประกอบอาชีพอาจต้องทำงานที่ไม่ปลอดภัย เช่น การทำงานที่เสี่ยงต่ออันตราย หรือจากการทำงานในที่สูง ยังมีจำนวนมากที่ต้องปฏิบัติงานที่หนักเกินกว่าความสามารถ และมากเกินไปจนพักผ่อนไม่เพียงพอ อาจทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ประกอบอาชีพทั้งร่างกายและจิตใจจนเกิดโรคจากความเครียดได้

ซึ่ง รติกร ลีละยุทธสุนทร (2546) ได้ให้ความหมายของความเครียด (stress) ว่าเป็นสภาวะทางจิตใจของบุคคลที่เกิดขึ้นหลังจากการรับรู้และประเมินแล้วว่า สภาพแวดล้อมหรือสถานการณ์ที่เข้ามากระทบนั้น มีมากเกินกว่าความสามารถของตัวเขาในการจัดการหรือควบคุมได้ ส่งผลต่อตัวบุคคลในด้านจิตใจ คือ วิตกกังวล ฉุนเฉียว สับสน และยังส่งผลให้บุคคลแสดงออกในรูปแบบของพฤติกรรม คือ ก้าวร้าว เบื่อหน่าย ไม่ต้องการทำงาน ซึ่งส่งผลของความเครียดต่อตัวบุคคลยังกระทบต่อต่อเนื่องถึงตัวองค์การด้วย คือ การขาดงาน การลาออก ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล ผลผลิตที่ลดลงและประสิทธิผลที่ลดลงขององค์การ

Miura et al. (1993) กล่าวว่า ขอบเขตทางด้านศักยภาพของประสาทสัมผัสการมองเห็นของมนุษย์มีมากกว่าประสาทสัมผัสในส่วนอื่น ซึ่งเพิ่มมากขึ้นเมื่อยืนอยู่ในที่สูง เนื่องด้วยประสาทสัมผัสเป็นกลไกที่สำคัญในการรับรู้ถึงอันตราย และเกิดการตอบสนองตามสัญชาติญาณเช่น ความหวาดกลัว ตื่นตระหนก และตัวสั่น ถ้าการตอบสนองนี้เกิดขึ้นในตัวของคนงานบนอาคารสูง ความสามารถในการตัดสินใจอาจลดลง และความเสี่ยงที่พลัดตกเพิ่มมากขึ้น ถ้าไม่มีมาตรการป้องกันที่เพียงพอ

Fu-Lin Chang et al. (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเหนื่อยล้าจากการทำงานอาคารสูงของคนงานในหน้าที่ต่างๆ กัน คือ งานนั่งร้าน งานเชื่อมเหล็ก งานไม้แบบ งานระบบไฟฟ้าและประปา และงานคอนกรีต บนอาคารสูงนับจากชั้นที่ 6 ที่ความสูง 24 เมตร จนเสร็จงานชั้นที่ 10 โดยได้ผลลำดับความเครียดในงานนั่งร้าน เหล็ก ไม้แบบ ระบบไฟฟ้าและประปา และงานคอนกรีต จากมากไปน้อยตามลำดับ เห็นว่างานนั่งร้านมีความตึงเครียดทางอารมณ์และทางร่างกายมากกว่างานอื่นๆ ซึ่งเป็นงานที่ควรลดความเสี่ยงอันตรายในการทำงานด้านนี้มากที่สุด

2.2 ความปลอดภัย และอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง จำแนกได้ 2 ประเภทหลัก (สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน, 2542) คือ

ก. สาเหตุนำของการเกิดอุบัติเหตุ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

1. ความผิดพลาดของการจัดการ เช่น การวางแผนงานดำเนินการด้านความปลอดภัยไม่ดีพอ ไม่มีการบังคับให้ปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัย ไม่ติดตามผลการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยของคนงานอย่างสม่ำเสมอ จุดอันตรายต่างๆ ไม่ได้ทำการแก้ไข อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลไม่เพียงพอ

2. สภาวะทางด้านจิตใจของคนงานไม่เหมาะสม เช่น ขาดความระมัดระวัง มีทัศนคติไม่ถูกต้อง จิตใจเลื่อนลอยขณะทำงาน ไม่สามารถควบคุมอารมณ์ในขณะทำงาน ตกใจง่ายเกิดความรู้สึกหวาดกลัว

3. สภาพร่างกายไม่เหมาะสมกับงาน เช่น เป็นโรคหัวใจ สายตาไม่ดี หูหนวก ร่างกายมีความพิการ สภาพร่างกายเมื่อยล้า อ่อนเพลีย เป็นต้น

ข. สาเหตุโดยตรงของการเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุโดยตรงของการเกิดอุบัติเหตุเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน คือ การปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัยและสภาพของงานที่ไม่ปลอดภัย

1. การปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัย มีสาเหตุสืบเนื่องมาจากคนงานที่ปฏิบัติงานโดยตรง เช่น ไม่สวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ทำการถอดอุปกรณ์ความปลอดภัยออก ไม่สนใจต่อคำเตือนต่างๆ ใช้เครื่องมือไม่ถูกวิธี เล่นกับเพื่อนร่วมงานขณะทำงาน เป็นต้น

2. สภาพของงานที่ไม่ปลอดภัย สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

2.1. อุบัติเหตุที่เกิดจากลักษณะงาน

ลักษณะของอุบัติเหตุมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของงานก่อสร้าง เช่น งานก่อสร้างอาคารสูง ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิด คือ เป็นลักษณะที่พลัดตกจากที่สูง วัตถุหล่นใส่ ตะปูตำเท้า เป็นต้น แต่ถ้าเป็นงานก่อสร้างถนน ลักษณะของอุบัติเหตุเกี่ยวเนื่องกับการใช้เครื่องจักรกล หรือจากการใช้เครื่องทุ่นแรงเป็นส่วนมาก ซึ่งลักษณะของอุบัติเหตุที่กล่าว ณ ที่นี้ ส่วนมากเป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับงานก่อสร้างอาคาร คือ

- การพลัดตกจากที่สูง
- วัสดุตกใส่
- การพังของโครงสร้างชั่วคราว
- การใช้เครื่องทุ่นแรง และเครื่องจักรกล
- การใช้เครื่องมือไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า

การพลัดตกจากที่สูงมักเกิดขึ้นอยู่เสมอและเป็นการประสบอันตรายของลูกจ้างที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้างมากที่สุด เช่น พลัดตกจากนั่งร้าน จากช่องเปิดบันได ลิฟท์ หลุมเสาเข็มเจาะ หรือพลัดตกจากเครื่องจักรกลในขณะปฏิบัติหน้าที่ จึงต้องถือเป็นภาระหน้าที่ของทุกฝ่าย ต้องช่วยกันสอดส่องดูแลกำกับให้การทำงานบังเกิดความปลอดภัยมากที่สุด เช่น ปิดช่องเปิด ทำราวกันตก เป็นต้น ถ้าปล่อยให้เป็นหน้าที่ของคนงานที่ต้องระมัดระวังอาจไร้ผลโดยสิ้นเชิง เพราะความรู้เท่าไม่ถึงการณ์และวุฒิภาวะ ดังนั้นผู้ควบคุมงานก่อสร้างต้องถือเป็นภาระหน้าที่สำคัญประการหนึ่งที่ต้องคอยสอดส่องดูแลสภาพการทำงานให้บังเกิดความปลอดภัยมากที่สุด ไม่ว่าเป็นการขนย้ายวัสดุก่อสร้าง การใช้ปั้นจั่นหอสูงต้องผูกหรือมัดวัสดุให้แน่น หรือการสร้างนั่งร้านของคนงานซึ่งต้องสังเกตการรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย หรือการตอกเสาเข็มพืด (Sheet Piles) ต้องมีความเชื่อมั่นว่าสามารถรับแรงดันของดินได้ เป็นต้น

2.2. อุบัติเหตุที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

ผู้ที่ทำงานก่อสร้างต้องพบกับสภาพแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ด้วยกันทั้งนั้น เช่น เสียงดัง แสงที่จ้าหรือมัวจนเกินไป ความสั่นสะเทือน ฝุ่น ควัน กลิ่น เป็นต้น หรือการตอกเสาเข็ม การขัดโลหะด้วยเครื่องขัด หรือเสียงอื่นๆ ที่ดังมากเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายได้

แสงสว่างในการทำงานเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง เพราะถ้าแสงมากเกินไปอาจทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้ตาพร่ามองไม่ชัด ก่อให้เกิดอันตรายได้ง่าย เช่น งานเชื่อม หรือการทำงานที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ เช่น การทำงานในเวลาการกลางคืน ถ้าแสงสว่างไม่เพียงพอแล้ว นอกจากได้ผลงานที่ไม่เรียบร้อยแล้ว ยังเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุได้โดยง่ายอีกด้วย เช่น งานทำฐานราก

ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น

ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมีมากมายหลายลักษณะ สำนักงานกองทุนเงินทดแทน (2540) ได้ทำการศึกษาและแบ่งลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นออกเป็น 22 ประเภท ซึ่งมีลักษณะของอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง สรุปได้ดังนี้

1) ตกจากที่สูง เป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเสมอในงานก่อสร้าง และมักมีความรุนแรงถึงขั้นพิการหรือเสียชีวิต เช่น ตกจากนั่งร้าน ตกจากปล่องลิฟต์หรือช่องเปิดต่างๆ ตกจากการปีนเครื่องตอกเสาเข็มหรือปั้นจั่นหอสูง เป็นต้น

2) หกล้ม ลื่นล้ม มักเกิดจากความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยในการทำงาน มีสิ่งกีดขวางทางเดินมีน้ำขังบริเวณทางเดิน เป็นต้น

3) อาคารหรือสิ่งก่อสร้างพังทับ มักเกิดจากการออกแบบโครงสร้างชั่วคราวไม่ถูกต้องหรือใช้งานเกินพิกัดบรรทุก เช่น การพังทลายของค้ำยันหรือกำแพงกันดินในงานขุดดินหรืองานใต้ดิน การพังทลายของนั่งร้าน เป็นต้น

4) วัตถุหรือสิ่งของหล่นทับหรือตกใส่ มักเกิดจากการวางหรือการมัดวัสดุ อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ไม่แน่นหนาในการขนย้าย เช่น ของตกจากการขนย้ายโดยใช้ปั้นจั่นหอสูง เป็นต้น

5) วัตถุหรือสิ่งของกระแทกหรือชน หนีบหรือตึง ตัดหรือบาด ส่วนใหญ่เกิดจากความผิดพลาดในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร เช่น การใช้งานผิดวัตถุประสงค์ เครื่องมือหรือเครื่องจักรชำรุด ขาดความระมัดระวังในการใช้งาน เป็นต้น

6) อุบัติเหตุจากยานพาหนะ ส่วนใหญ่มักเกิดจากเครื่องจักรกลในงานก่อสร้าง เช่น รถแทรกเตอร์ รถตักดิน เช่น รถทับคนงาน หรือเหวี่ยงแขนกลไปโดนคนงาน เป็นต้น

7) ผลจากความร้อนหรือสัมผัสของร้อน เช่น ประกายไฟกระเด็นใส่ขณะทำงานเชื่อม เป็นต้น

8) ไฟฟ้าช๊อตหรือไฟไหม้ เช่น ขาดความรู้ในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดหรือไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น

9) วัตถุหรือสิ่งของกระเด็นเข้าตา มักเกิดจากการไม่สวมหน้ากากขณะทำงานเชื่อม ไม่สวมแว่นนิรภัยขณะทำงานเจียร ซึ่งอาจทำให้ประกายไฟ หรือเศษวัสดุกระเด็นเข้าตาได้

10) วัตถุหรือสิ่งของระเบิด

ผลของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น

จากสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NSC, 1969 : อ้างอิงถึงใน เสริมสิน วชิราพรพฤต, 2543) ได้สรุปผลที่เกิดขึ้นจากการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งทำให้เกิดการบาดเจ็บ พิการ หรือเสียชีวิต ไว้ดังนี้

1) ไม่สามารถทำงานได้ชั่วคราว เป็นการบาดเจ็บที่สามารถรักษาพยาบาลได้ มีผลเพียงแค่ต้องหยุดงานชั่วคราวเท่านั้น

2) สูญเสียอวัยวะบางส่วนของร่างกาย คือ ความพิการบางส่วนของผู้ประสบอันตรายเป็นผลให้เกิดความสูญเสียหรือไม่สามารถใช้การได้ของอวัยวะบางส่วนของร่างกาย

3) ทุพพลภาพ คือ ความพิการอย่างถาวรของผู้ประสบอันตราย เป็นผลให้เกิดความสูญเสียหรือไม่สามารถใช้การได้ของอวัยวะดังต่อไปนี้

- ตาสองข้าง
- หนึ่งตาและหนึ่งมือ หรือแขน หรือขา หรือเท้า
- อวัยวะสองอย่างที่มิได้อยู่ข้างเดียวกัน คือ มือ แขน เท้า และขา

4) เสียชีวิต

2.3 เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

1) เทคโนโลยีความจริงเสมือน หรือ Virtual Reality (VR)

ความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) หรือที่เรียกกันย่อๆ ว่า “วีอาร์” (VR) เป็นกลุ่มเทคโนโลยีเชิงโต้ตอบที่ผลักดันให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกของการเข้าร่วมอยู่ภายในสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้มีอยู่จริงที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ ถ้าผู้ออกแบบสามารถให้ประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความค่อยเป็นค่อยไปในปฏิสัมพันธ์กับโลกทางกายภาพซึ่งเป็นสิ่งที่อยู่ล้อมรอบตัวเราอยู่แล้ว มนุษย์สามารถรับและเข้าใจสารสนเทศได้ง่ายยิ่งขึ้น ถ้าสารสนเทศนั้นกระตุ้นการรับรู้สัมผัสของผู้รับ เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนสามารถเลียนการรับรู้สัมผัสของโลกทางกายภาพได้โดยสร้างการรับรู้หลายทางในสิ่งแวดล้อมสามมิติขึ้น ความเป็นจริงเสมือนได้สร้างเนื้อหาสาระของสิ่งที่แสดงให้เห็นโดยการรับรู้ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของคอมพิวเตอร์ เพื่อตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวทางกายภาพของผู้ใช้ที่สืบหาด้วยเครื่องรับรู้ของคอมพิวเตอร์ (กิดานันท์ มลิทอง, 2548)

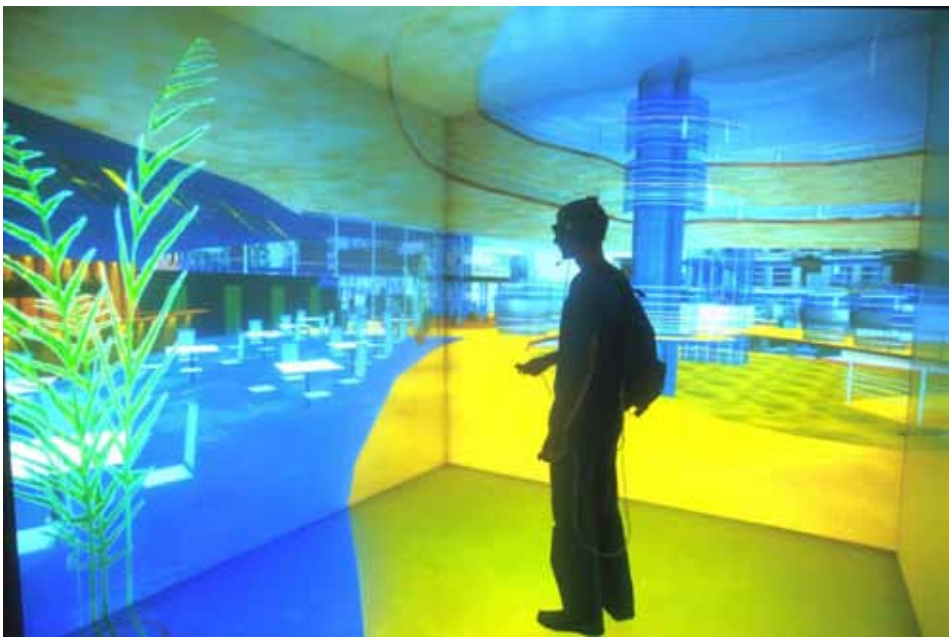
ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ได้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ (kalawsky, 1996 : อ้างถึงใน กิดานันท์ มลิทอง, 2548)

1) ความเป็นจริงเสมือนแบบรับสัมผัสเต็มรูปแบบ (Fully-immersive VR) นับเป็นต้นแบบของความเป็นจริงเสมือนที่เกิดขึ้นในยุคแรกและเป็นรูปแบบที่ให้ประสบการณ์เสมือนจริงที่ดีที่สุด ผู้ใช้สามารถรับรู้ข้อมูลด้วยประสาทประสาทสัมผัสทั้ง 5 อย่างเต็มรูปแบบโดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เสริมพิเศษและต้องสวมใส่อุปกรณ์ เช่น จอภาพสวมศีรษะ ถุงมือรับรู้ และใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 ความเป็นจริงเสมือนแบบรับสัมผัสเต็มรูปแบบ (Fully-immersive VR)

(ที่มา : http://arcadecontrols.com/images/News/2007-04-13-virtual.jpg)

2) ความเป็นจริงเสมือนแบบสัมผัสบางส่วนหรือกึ่งรับสัมผัส (Semi-immersive VR) เป็นแบบที่นำแนวความคิดการจำลองการบินมาใช้เนื่องจากมีการประมวลผลกราฟิกสมรรถนะสูง หลักการทำงานคล้ายกับประเภทรับสัมผัสเต็มรูปแบบ แต่มีการพัฒนาระบบจอภาพให้มีขนาดใหญ่และมุมกว้างให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสูง มีรูปทรงสี และความคมชัดตรงกับความเป็นจริงเพื่อให้ผู้ใช้มีความรู้สึกสมจริง อุปกรณ์ฉายสามารถเสนอภาพได้คมชัดกว่าจอภาพสวมศีรษะ หากต้องการได้ภาพคุณภาพสูงสุดต้องใช้ระบบฉายภาพแบบหลายทิศทาง ซึ่งมีราคาแพง อุปกรณ์แสดงผลหลัก ได้แก่ จอภาพมอนิเตอร์ขนาดใหญ่ ระบบจอภาพขนาดกว้าง แว่นตามองภาพ 3 มิติ อุปกรณ์ในส่วนข้อมูลนำเข้า ได้แก่ แท่งควบคุม (joystick) และอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ในสิ่งแวดล้อมสามมิติ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ความเป็นจริงเสมือนแบบสัมผัสบางส่วนหรือกึ่งรับสัมผัส (Semi-immersive VR)

(ที่มา : http://www.intuition-eunetwork.org/assets/pics/CAVE_HyPi6_1.jpg)

3) ความเป็นจริงเสมือนแบบผ่านจอภาพ (Non-immersive VR หรือ Desktop VR) ความเป็นจริงเสมือนรูปแบบนี้เรียกได้ว่าเป็น “ความเป็นจริงประดิษฐ์” (Artificial Reality) เนื่องจากเป็นแบบที่ทำให้ประสบการณ์เสมือนจริงน้อยที่สุด โดยการใช้ประสาทสัมผัสทางตาดูภาพผ่านจอมอนิเตอร์ และควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ด้วยมือเพื่อบังคับอุปกรณ์ เช่น คีย์บอร์ด เมาส์ ลูกกลมควบคุม (trackball) เพื่อเปลี่ยนมุมมองของภาพสามมิติที่สร้างด้วยซอฟแวร์ VRML (Virtual Reality Modeling Language) บางครั้งอาจต้องสวมแว่นสองทิศทางและมีระบบการฉายภาพพิเศษบนจอมอนิเตอร์ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 ความเป็นจริงเสมือนแบบผ่านจอภาพ (Non-immersive VR หรือ Desktop VR)

(ที่มา : http://www.5dt.com/products/images/viz_flo_viz_001.jpg)

สรุปได้ว่าความจริงเสมือน หรือ Virtual Reality หมายถึงเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงหรือจากจินตนาการ โดยแสดงผลออกมาเป็นภาพ หรืออาจเพิ่มให้มีการตอบสนองต่อผู้ใช้ได้ด้วยภาพเคลื่อนไหว เสียง และการตอบกลับ เช่น เมื่อผู้ใช้เคลื่อนไหว ภาพถูกสร้างให้รับกับความเคลื่อนไหว เป็นต้น (Spelz, 2001)

Zeltzer (อ้างถึงใน มงคล ฉันท์ไพศาล 2545) กล่าวถึงลักษณะสำคัญ 3 ประการของความจริงเสมือน (Virtual Reality) ต้องประกอบไปด้วย 3 ลักษณะ ดังนี้

1) PRESENCE หมายถึง มีการสร้างโมเดลในลักษณะ 3 มิติภายใน Virtual Space ในเครื่องคอมพิวเตอร์

2) INTERACTION หมายถึง มีการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ real time

3) AUTONOMY หมายถึง มีความเป็นอิสระในการดำเนินการใดๆ ภายใน Virtual Space

2) **เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงหรือ** Virtual Environment Technology (VE)

สภาพแวดล้อมเสมือนจริง หรือ Virtual Environment คือสภาพแวดล้อมที่ถูกจำลองขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ มีเป้าหมายเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมือนจริง ให้สอดคล้องกับระบบประสาทสัมผัสในการรับรู้ของมนุษย์ทั้ง 5 ชนิด อันได้แก่ การมองเห็น การได้ยินเสียง การสัมผัส การได้กลิ่น และการรับรู้รสชาติ เพื่อเป็นการลวงให้ผู้ใช้งานเกิดความรู้สึกว่าสภาพแวดล้อมที่ตัวเองได้รับรู้อยู่นั้นใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ (Dam, et al., 2000) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงทั่วไปมีอยู่ 2 แบบหลัก คือ

1) Head Mounted Display (HMD)

Head Mounted Display หรือเรียกชื่อย่อว่า HMD นั้นเป็นอุปกรณ์แสดงภาพสามมิติโดยอาศัยหลักการจากดวงตามนุษย์ที่สามารถเห็นวัตถุมีความลึกได้ เนื่องจากดวงตาทั้ง 2 ข้างเมื่อมองไปยังวัตถุชนิดเดียวกันด้วยมุมมองศาที่ต่างกัน ดังนั้นด้วยหลักการนี้จึงนำมายังการสร้างอุปกรณ์แสดงภาพสามมิติ โดยใช้หลักภาพที่แสดงยังดวงตาแต่ละข้างมีองศาที่แตกต่างกันเล็กน้อยจึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพเป็นสามมิติได้ โดยอุปกรณ์ HMD นี้นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์แสดงภาพที่เก่าแก่ที่สุดนับตั้งแต่รุ่นแรกที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งทำให้มีการปวดคอได้ และศีรษะร้อนเหมือนเข้าเครื่องอบไอน้ำ แต่เมื่อกาลเวลาผ่านไป HMD ได้พัฒนา จนมีลักษณะคล้ายคลึงกับแว่นตากันลม (goggles) ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่ามาก และมีการพัฒนาโดยการใส่หูฟังระบบสามมิติเพื่อได้ฟังเสียงต่างๆ ได้รอบทิศทาง อีกทั้งมีการใส่ไจโรสโคปเข้าไป ทำให้เมื่อเวลาผู้ใช้งานหมุนเปลี่ยนทิศทาง ภาพถูกปรับเปลี่ยนไปตามทิศทางนั้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 อุปกรณ์ HMD

(ที่มา : http://www.jvrb.org/articles/34/figure2.jpg)

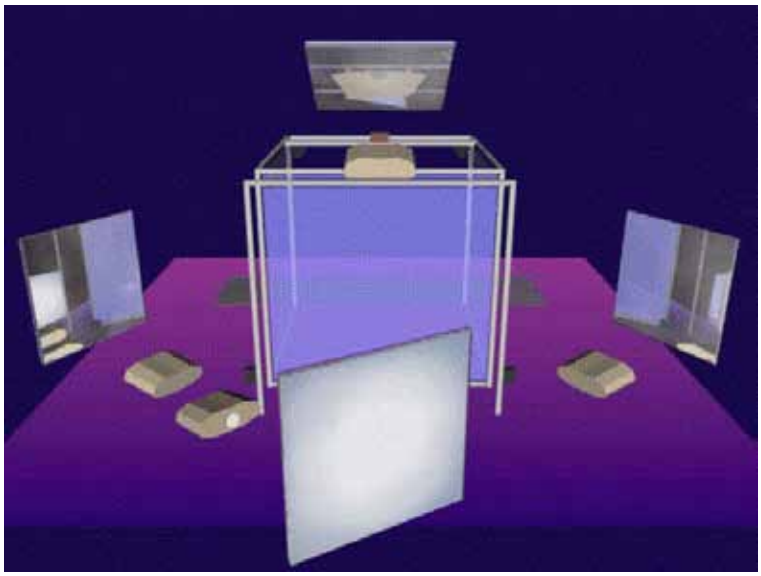
2) Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)

Cave Automatic Virtual Environment หรือเรียกโดยย่อว่า CAVE คือเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment) โดยการใช้กล้องโปรเจคเตอร์ฉายภาพลงไปผนังหลายด้าน ตั้งแต่ 3 ถึง 6 ด้าน เปรียบเสมือนกับห้องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่มีภาพฉายตามผนังทุกด้าน ดังแสดงในภาพที่ 2.5

CAVE อันแรกถูกพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการ Electronic Visualization ของมหาลัยอิลินอย ที่เมืองชิคาโก และได้นำมาประกาศและเผยแพร่เป็นครั้งแรกในปี 1992 ที่ SIGGRAPH โดยมี Thomas A. DeFanti, Daniel J. Sandin และ Carolina Cruz-Neira เป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้น หลังจากนั้นจึงถูกนำมาพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยและค้นคว้าในวงความรู้ในด้านต่างๆ และได้ถูกจดทะเบียนเป็นเครื่องหมายทางการค้าของมหาวิทยาลัยอิลินอย

CAVE โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 10’ x 10’ x 9’ โดยวางอยู่ในห้องขนาดใหญ่ประมาณ 35’ x 25’ x 13’ โดยตลอดเวลาที่ใช้ CAVE ข้างนอกต้องไม่เปิดไฟ โดยผนังและพื้นของ CAVE ได้ทำเป็น projection screen แล้ว Projector ความละเอียดสูงแสดงบนภาพ projection

screen ในแต่ละด้าน และผู้ใช้งานต้องเข้าไปอยู่ใน CAVE โดยสวมแว่นตาพิเศษสำหรับในการมองเห็นภาพเป็นสามมิติ ด้วยแว่นตาอันนี้ทำให้เห็นวัตถุลอยอยู่บนอากาศได้ และสามารถเดินไปเดินมาภายใน CAVE ได้ สามารถมองวัตถุที่เสมือนจริงได้ โดยการเดินดูโดยรอบ เนื่องจากกรอบของ CAVE ทำมาจากเหล็กกล้าที่ไม่มีผลต่อสนามแม่เหล็กซึ่งมีผลต่อ electromagnetic sensor ตรวจจับไว้แล้วนำไปปรับปรุงภาพทำให้สมจริงมากยิ่งขึ้น และในทำนองเดียวกัน ไม่ใช่เพียงแสดงภาพเท่านั้น แต่เสียงสามารถทำงานในลักษณะเดียวกัน (ปรีดิ์ณัฐ ภาณุมนต์วาที, 2552)



ภาพที่ 2.5 ภาพจำลองเครื่องมือ CAVE

(ที่มา : http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/oldCAVE/caveback_small.jpg)

2.4 กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้างที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างอาคารของประเทศไทยในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่ามีกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยของงานก่อสร้าง แต่เนื้อหานั้นยังกล่าวในลักษณะภาพกว้าง ไม่ลงรายละเอียดของการออกแบบระบบป้องกันอันตราย ดังสรุปสาระสำคัญของประกาศกระทรวงมหาดไทยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย และการป้องกันอันตรายในงานก่อสร้างต่างๆ มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับงานก่อสร้างอาคารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2538) และมาตรฐานจากสถาบันความปลอดภัยของอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) ในภาคผนวก ช

พบว่ามาตรฐานเครื่องมือของสหรัฐอเมริกามีการกำหนดความแข็งแรงของเครื่องป้องกันการตกจากที่สูงไว้อย่างชัดเจนว่าควรรับแรงต้านทานเท่าไหร่ แต่ในส่วนของระยะและขนาดต่างๆ ใกล้เคียงกับของประเทศไทย โดยปรับลดขนาดลงมา เนื่องจากรูปร่างของคนไทยนั้นเล็กกว่ารูปร่างของคนอเมริกา

Holly M. Johnson et al. (1998) ได้ทำการศึกษาเรื่องการป้องกันการตกจากที่สูงในงานหลังคา โดยในฮาวายยังไม่มีการป้องกันที่ดี และไม่ได้ทำระบบกันตกตามมาตรฐานที่มีอยู่ ทำให้ยังคงเกิดอุบัติเหตุอยู่เสมอ เนื่องจากเหตุผลหลายประการคือ ภาวการณ์แข่งขันสร้างบ้านพักอาศัยสูง พฤติกรรมที่ไม่ปลอดภัยของแรงงาน ความยากในการออกแบบ การก่อสร้างตามแบบนิยม และขาดความรู้ ซึ่งการที่ทำให้การป้องกันการตกมีผลขึ้นมาโดยสมัครใจนั้น ต้องมีความเป็นไปได้ มีลักษณะเรียบง่าย ไม่เสียค่าใช้จ่ายมากนัก สามารถป้องกันได้จริง ซึ่งในการศึกษานี้ทำการหาวิธีการป้องกันการตกในแบบต่างๆ เช่น ราวกันตก ตาข่ายนิรภัย เครื่องป้องกันส่วนบุคคล หรือวิธีอื่นๆ เพื่อให้ได้แบบที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานจริงและผู้จัดการโครงการเพื่อหาข้อสรุป ผลการศึกษาพบว่าการทำหลังคาแบบสำเร็จรูปเป็นที่ยอมรับมากที่สุดซึ่งมีความเป็นไปได้เล็กน้อยเนื่องจากผู้รับเหมาส่วนมากในฮาวายไม่มีเครน ส่วนเครื่องป้องกันที่ยอมรับรองลงมาคือ เครื่องป้องกันการตกส่วนบุคคล

2.5 สรุปท้ายบท

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจากบทความ หนังสือ เอกสาร วารสาร งานวิจัยและสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย สรุปเป็นหัวข้อคือ 1) ผลของระดับความสูงต่อผู้ปฏิบัติงาน 2) อุบัติเหตุในงานก่อสร้าง 3) เทคโนโลยีจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง 4) กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้างที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยข้อมูลจากการศึกษานี้เป็นพื้นฐานหรือที่มาของการทำการวิจัยเรื่องการออกแบบราวกันตกที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างอาคารสูง โดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของการนำแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบลักษณะเครื่องกั้นหรือเครื่องป้องกันอันตรายที่ใส่ใจต่อความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน ในงานก่อสร้างอาคารสูง โดยมีขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ขั้นตอนการค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานความปลอดภัย อุบัติเหตุในงานก่อสร้าง สุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน และเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจาก บทความ หนังสือ วิทยานิพนธ์ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2) ขั้นตอนการค้นคว้าเอกสารเพื่อคัดเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูง เพื่อมาใช้จำลองในเครื่องมือสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง กรณีศึกษาของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ราวกันตก

3) ขั้นตอนการศึกษาวิธีการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ซอฟแวร์ที่ใช้ และขั้นตอนการพัฒนาซอฟแวร์คอมพิวเตอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4) ขั้นตอนการพัฒนาแบบทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความรู้สึก 3 เครื่องมือ คือ เครื่องมือทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก เครื่องมือทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงาน และเครื่องมือทดสอบโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

5) ขั้นตอนการทดสอบและประเมินผลของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก

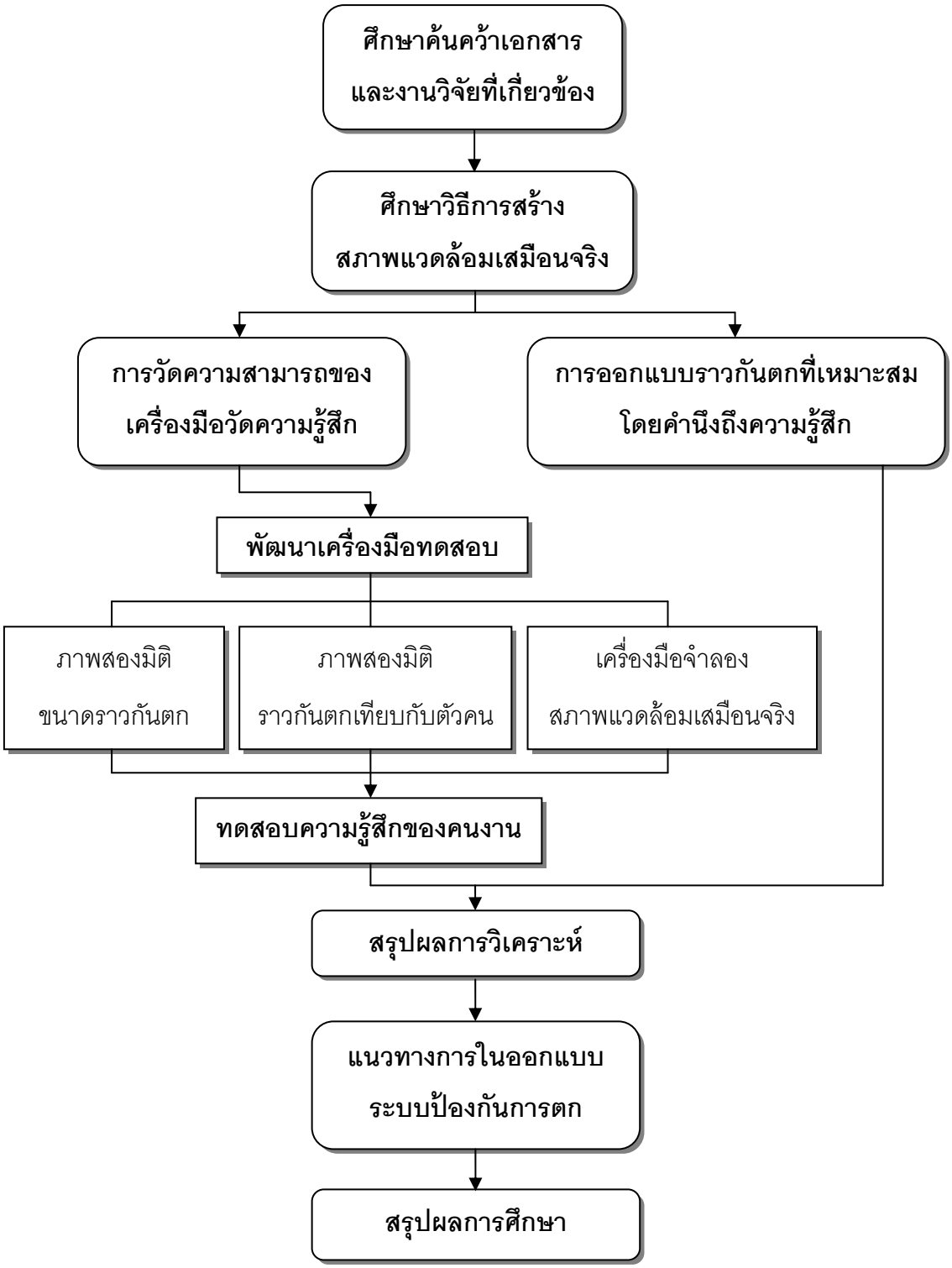
- คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างของผู้ปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการศึกษา

- ทำการศึกษาพร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบสอบถามโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจวัดความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานอาคารสูงด้วยการจำลองใช้ราวกันตกหลายรูปแบบ
- นำกลุ่มตัวอย่างจากคนงานก่อสร้างจำนวน 10 คน มาทำการทดสอบความรู้สึกในด้านความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานที่มีราวกันตกรูปแบบต่างๆ ด้วยเครื่องมือทดสอบทั้ง 3 แบบ
- นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบทั้ง 3 แบบ และคัดเลือกผลการทดสอบแบบที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากที่สุดมาวิเคราะห์หารูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

6) ขั้นตอนการสรุปผลและจัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์

- สรุปผลและเปรียบเทียบถึงเครื่องมือที่ใช้ในการป้องกันอันตราย
- สรุปแนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง
- ทำการสรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในอนาคต

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยข้างต้น สามารถเขียนเป็นแผนภาพสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยให้ง่ายต่อการเข้าใจได้ ดังภาพที่ 3.1

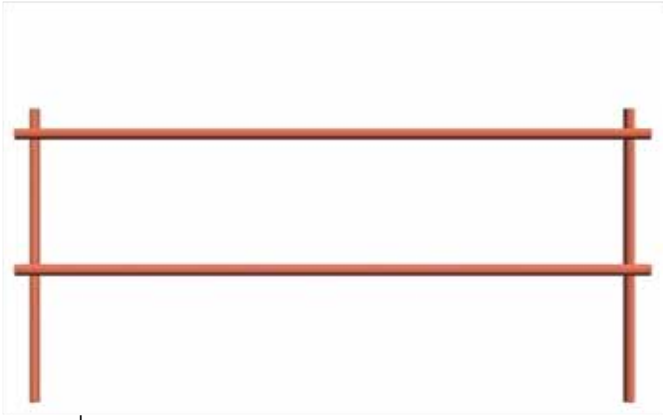


ภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การคัดเลือกรูปแบบของระบบป้องกันการตกบนอาคารสูง

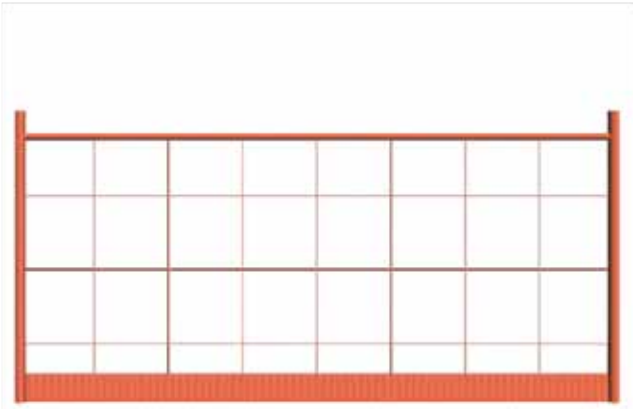
ในการสร้างแบบจำลองอุปกรณ์ป้องกันการตก การศึกษานี้เน้นเพียงอุปกรณ์ที่รับรู้ความรู้สึกผ่านประสาทสัมผัสการมองเห็นเป็นหลัก ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันการตกที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อพัฒนาเครื่องมือทดสอบในการวิจัยนี้ คือ ราวกันตก

จากการศึกษาและการสำรวจราวกันตกตามสถานที่ก่อสร้างอาคารสูง 9 แห่งในกรุงเทพมหานคร โดยเป็นที่ก่อสร้างในพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 5 แห่ง เขตราชเทวี 2 แห่ง และเขตจตุจักร 2 แห่ง ซึ่งสามารถจำแนกรูปแบบราวกันตกออกเป็น 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 – 3.4



ภาพที่ 3.2 ราวกันตกแบบแนวนอน ราวบนและราวกลาง

ภาพที่ 3.3 ราวกันตกแบบแนวนอน ระยะห่างระหว่างราว 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.4 ราวกันตกแบบตะแกรง ช่องขนาด 25 x 25 เซนติเมตร

ซึ่งในแต่ละรูปแบบดังกล่าวตามสถานที่ก่อสร้างมีความสูงของราวบนอยู่ในช่วง 90 - 100 เซนติเมตร เป็นไปตามมาตรฐานของการออกแบบราวกันตกที่ต้องมีความสูงอย่างน้อย 90 เซนติเมตร โดยในการวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ระดับความสูงของราวบน คือ ความสูงตามมาตรฐานการออกแบบราวกันตก 90 เซนติเมตร หรือความสูงในระดับเอว และความสูงที่พิจารณาเพิ่มเติมจากมาตรฐานให้มีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 120 เซนติเมตร หรือความสูงในระดับหน้าอก โดยรายละเอียดรูปแบบราวกันตกทั้งหมดระบุในบทที่ 4

3.3 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อราวกันตก สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในการวิจัยนี้พิจารณาวิธีการทดสอบความรู้สึก พร้อมให้เหตุผลที่มาของวิธีทดสอบได้ 3 แบบ คือ

1) กรณีผู้ทดสอบรู้ขนาดที่แท้จริงของระยะตามระบบการวัด วิธีทดสอบโดย “การบอกรูปแบบราวกันตกและขนาดของราวกันตกตามระบบการวัด” อาจเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการวัดความรู้สึก

2) กรณีผู้ทดสอบไม่รู้ขนาดที่แท้จริงของระยะตามระบบการวัด แต่ถ้ารู้ขนาดเมื่อเทียบกับตนเอง วิธีการทดสอบโดย “การบอกรูปแบบราวกันตกโดยไม่จำเป็นต้องรู้ขนาดของราวกันตกตามระบบการวัด แต่ให้รู้ขนาดเปรียบเทียบกับขนาดของตัวบุคคล” อาจเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการวัดความรู้สึก

3) แม้ว่าผู้ทดสอบรู้หรือไม่รู้ขนาดที่แท้จริงของระยะตามระบบการวัด แต่ยังคงไม่แน่ใจในการวัดความรู้สึก วิธีการทดสอบโดย “การทดสอบที่ให้ผู้ทดสอบเสมือนอยู่ใกล้ราวกันตกได้เห็นขนาดของราวกันตกจริง” อาจเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการวัดความรู้สึก

จากวิธีการทดสอบทั้ง 3 แบบข้างต้น ในการวิจัยนี้จึงพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 3 เครื่องมือ ตามลักษณะวิธีการทดสอบเรียงตามลำดับ ได้แก่

1) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก

2) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง

3) เครื่องมือทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

3.4 การพัฒนาแบบจำลองกราฟิก 3 มิติสำหรับพัฒนาเครื่องมือทดสอบ

การพัฒนาเครื่องมือในการวัดความรู้สึกของคนงาน โดยเฉพาะเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติของระบบราวกันตกในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริง สามารถใช้ซอฟแวร์สร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติทั่วไป เช่น “3D Studio Max”, “Maya”, “AutoCAD”, “Google SketchUp”, “SolidWorks” เป็นต้น โดยในการเลือกใช้ซอร์ฟแวร์สำหรับการสร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติ ขึ้นกับความถนัดของผู้พัฒนาแบบจำลอง โดยการวิจัยนี้ใช้ซอฟแวร์สร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติ “3D Studio MAX” เวอร์ชั่น 2010 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองราวกันตก และสามารถนำแบบจำลองราวกันตก 3 มิติที่สร้างขึ้น ไปพัฒนาเครื่องมือในการวัดความรู้สึก 2 แบบ นอกเหนือจากเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงตามการออกแบบเครื่องมือในการวิจัยนี้คือการทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก และการทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงาน โดยรายละเอียดของการพัฒนาแต่ละเครื่องมือทดสอบทั้งหมดระบุในบทที่ 4

3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล

งานวิจัยนี้ แบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ช่วง คือ การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก และ การวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสม

3.5.1 การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดความสามารถในการวัดความรู้สึกมีจุดประสงค์เพื่อหาข้อพิสูจน์ถึงเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่นำเสนอในการวิจัยนี้ สามารถเข้าถึงความรู้สึกของบุคคลได้ดีกว่าเครื่องมืออื่น เช่น ภาพสองมิติ การบอกกล่าว หรืออธิบาย เพื่อลดข้อสงสัย หรือความรู้สึกขัดแย้งว่าเครื่องมืออื่นดีกว่าด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบความรู้สึกของเครื่องมือประเภทต่างๆ

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดความสามารถในการวัดความรู้สึกระหว่าง 3 เครื่องมือทดสอบสามารถพิจารณาได้จากการตอบแบบทดสอบของผู้ทดสอบของแต่ละคน เนื่องจากเหตุผลที่ว่า ถ้าผู้ทดสอบความรู้สึก ใช้ความคิดพิจารณาตอบแบบทดสอบความรู้สึก ทำให้คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งมักเปลี่ยนแปลงไปหรือมีความไม่แน่นอนในการตอบมากกว่าการใช้ความรู้สึกภายในบุคคลตอบแบบทดสอบความรู้สึก เพราะการใช้ความคิดในการตอบนั้น ถ้าไม่สามารถจำคำตอบเดิมได้ ผู้ทดสอบต้องใช้ความคิดใหม่อีกครั้งในการตอบ ซึ่งอาจไม่เหมือนเดิมจากครั้งก่อนหน้า แต่ถ้าใช้ความรู้สึกในการตอบ ถึงแม้จำคำตอบเดิมที่เคยตอบไว้ไม่ได้ ก็สามารถรู้สึกถึงความรู้สึกเดิม แปลงเป็นเกณฑ์ของคำตอบได้ดังเดิมหรือใกล้เคียงกันกับคำตอบเดิมมากกว่า

ด้วยเหตุผลของการใช้ความคิดหรือความรู้สึกในการตอบแบบทดสอบความรู้สึก สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดความสามารถในการวัดความรู้สึกของเครื่องมือทดสอบ โดยใช้วิธีการวัดการกระจายข้อมูล ซึ่งการวัดการกระจายช่วยให้เห็นลักษณะของข้อมูลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่ข้อมูลประกอบด้วยค่าที่มีการกระจายแตกต่างกันมาก แสดงถึงความไม่แน่นอนในการตอบแบบทดสอบนั้น ซึ่งเกิดจากการใช้ความคิดมากกว่าการใช้ความรู้สึกในการตอบ ส่วนในกรณีที่

ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายน้อย แสดงถึงความแน่นอนหรือมั่นใจในการตอบแบบทดสอบนั้น ซึ่งเกิดจากการใช้ความรู้สึกมากกว่าการใช้ความคิดในการตอบ โดยความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึกที่มีประสิทธิภาพต้องวัดความรู้สึกของผู้ทดสอบได้ดี ดังนั้นถ้าผลการทดสอบของเครื่องมือวัดความรู้สึกที่มีค่าการกระจายของข้อมูลน้อยกว่าของเครื่องมืออื่น แสดงว่าเครื่องมือวัดความรู้สึกนั้นมีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากกว่า

ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ถ้าข้อมูลเหล่านั้นมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และมีหน่วยเดียวกัน สามารถเปรียบเทียบจากการวัดการกระจายได้โดยตรง โดยเปรียบเทียบจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ในกรณีที่มีข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่แตกต่างกันมาก หรือมีหน่วยต่างกัน การเปรียบเทียบไม่สามารถพิจารณาจากการวัดการกระจายโดยตรงอย่างเดียวได้ จำเป็นต้องเปรียบเทียบโดยใช้สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (Coefficient of Variation) (กานดา พูนลาภทวี, 2530) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$CV = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100\%$$

เมื่อ CV (Coefficient of Variation) คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจายจากการใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นดรรชนีวัดการวัดการกระจาย

S.D. (Standard Deviation) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ (Mean) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลจากการวัดการกระจายโดยตรงโดยดูจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะการแบ่งระดับความรู้สึกมีช่วงคะแนน 1-5 คะแนน ซึ่งเป็นช่วงสั้น คะแนนจึงใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้คิดค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายควบคู่กันไปด้วย

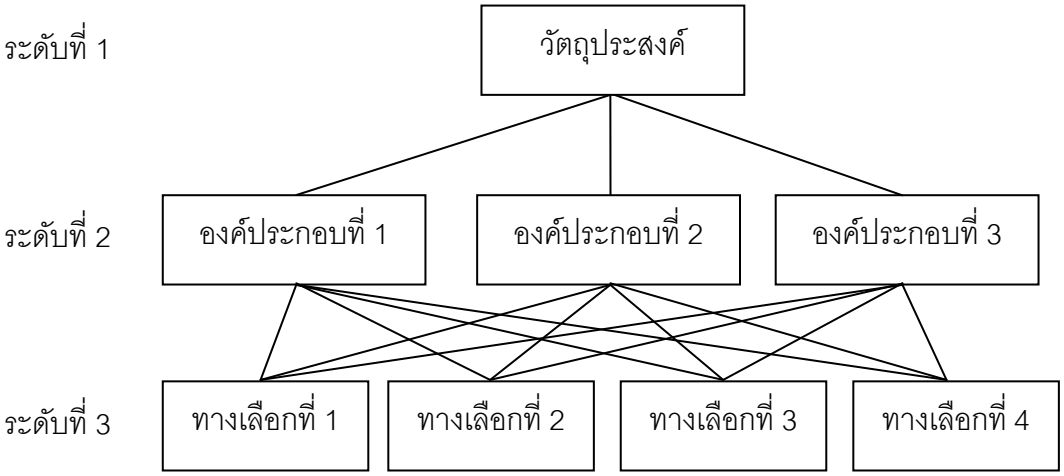
3.5.2 การวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสม

ในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกระบบราวกันตกใช้วิธี AHP หรือกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) โดยแนวคิดเกี่ยวกับวิธี AHP (จุฑาภรณ์ บูรณะโอสถ, 2543) เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty ในปี ค.ศ. 1970 เป็นกระบวนการของการตัดสินใจเลือกหรือเรียงลำดับทางเลือกในการตัดสินใจที่ซับซ้อน โดยสร้างรูปแบบของการตัดสินใจให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้น และนำข้อมูลที่ได้จากความคิดเห็นของผู้ตัดสินมาวิเคราะห์หาแนวทางเลือกที่เหมาะสม (Saaty, 1980; Yoon & Hwang, 1995) ซึ่งขั้นตอนการประเมินตามวิธี AHP สรุปได้ดังนี้

1) **การกำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบ** โครงสร้างพื้นฐานของ AHP ประกอบด้วย 3 ระดับหลัก ได้แก่ เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ องค์ประกอบการพิจารณาและทางเลือกในการตัดสินใจ (ดังภาพที่ 3.5) โดยที่

- เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ คือการแจ้งถึงวัตถุประสงค์โดยรวมของเรื่องที่ต้องการตัดสินใจ
- องค์ประกอบการตัดสินใจ คือสิ่งที่สามารถทำให้เป้าหมายประสบผลสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้น ใช้ประเมินหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์นั้น
- ทางเลือกในการตัดสินใจ คือวิธีการหรือสิ่งต่างๆ ที่กระทำแล้วเกิดประโยชน์สูงสุดแก่เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ในแต่ละลำดับหรือแต่ละส่วนก็สามารถทำให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้นซ้อนเข้ามาได้อีก เช่น องค์ประกอบหลักแต่ละองค์ประกอบก็สามารถเพิ่มองค์ประกอบย่อยได้ (วิฑูรย์ ตันสิริคงคล, 2542)



ภาพที่ 3.5 แผนภาพโครงสร้างทั่วไปของวิธี AHP

2) **การกำหนดระดับความสำคัญในแต่ละระดับชั้น** ผู้ที่ทำการตัดสินต้องทำการประเมินความสำคัญของแต่ละระดับชั้นด้วยวิธีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์กัน ในเรื่องของความสำคัญ ความชอบ หรือความเป็นไปได้ของแต่ละคู่ ในแต่ละกลุ่มของลำดับชั้นนั้นๆ สำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญนี้สามารถทำได้โดยใช้ผู้ตัดสินใจคนเดียวหรือเป็นกลุ่ม ทั้งที่เป็นผู้เชี่ยวชาญหรือไม่ก็ได้ แต่ทุกคนต้องทราบหรือคุ้นเคยกับเรื่องที่ต้องการตัดสินใจนั้นๆ องค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจที่สร้างเป็นโครงสร้างลำดับชั้นแล้วในขั้นตอนที่ 1 ถูกจัดอยู่ในรูปเมตริกซ์ของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบมาใส่ค่าความสำคัญลงในเมตริกซ์เพียงครึ่งหนึ่งของสมาชิกเมตริกซ์ทั้งหมด อีกครึ่งหนึ่งเป็นเมตริกซ์ส่วนกลับในตำแหน่งเดิมของค่าที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุมดังภาพที่ 3.6 แสดงเมตริกซ์ของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของการตัดสินใจในภาพที่ 3.5 สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบก็คือ

$$\text{จำนวนครั้งในการเปรียบเทียบ} = (n^2 - n) / 2$$

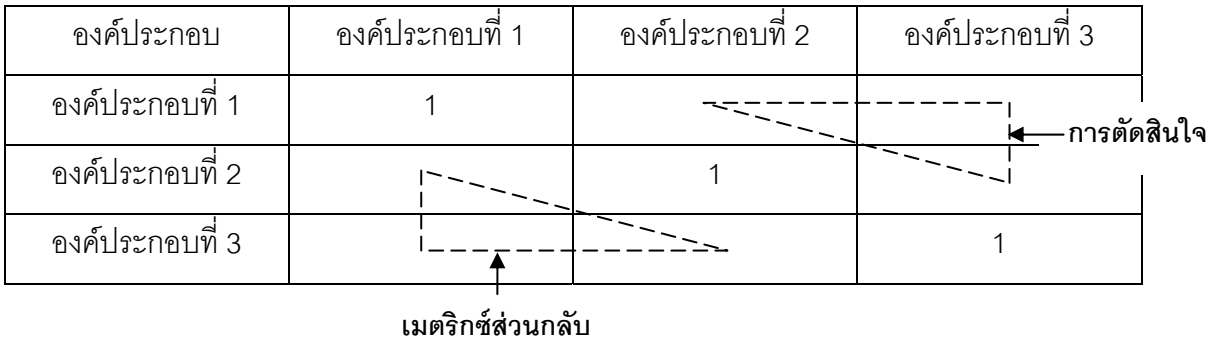
โดยที่ n คือจำนวนองค์ประกอบที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542)

ในการเปรียบเทียบความสำคัญเป็นรายคู่จำเป็นต้องใช้ชุดตัวเลขในการเปรียบเทียบ ชุดตัวเลขจึงมีความสำคัญมาก ต้องเป็นชุดตัวเลขที่มีความเป็นไปได้และมีความน่าเชื่อถือ โดยชุดตัวเลขที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้สร้างขึ้นมาจากการศึกษาของ Thomas L. Saaty

ในปี ค.ศ. 1980 ซึ่งได้ยืนยันว่ามาตราส่วน 1-9 นั้นเหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนถึงระดับความคิดของมนุษย์ที่สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ได้ง่าย อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นพอในการเปรียบเทียบความสำคัญในแต่ละระดับ และมีตัวเลขให้เลือกในการตอบสนองความคิดและถ่ายทอดออกมาในการเปรียบเทียบได้ดี ชุดของตัวเลข1-9 ที่ใช้เปรียบเทียบนี้มีความหมายของค่าตัวเลขแต่ละตัว ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชุดตัวเลข 1-9 ของวิธี AHP

ค่าของตัวเลข	**ความหมาย**
1	มีความสำคัญเท่ากัน
2	↓
3	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่ากันเล็กน้อย
4	↓
5	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับปานกลาง
6	↓
7	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับค่อนข้างมาก
8	↓
9	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับมากที่สุด



ภาพที่ 3.6 เมตริกซ์การเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ในการตัดสินใจเลือกระบบป้องกันการตกจากที่สูง จากการศึกษาและสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยรายละเอียดระบุในบทที่ 6 สามารถแบ่งองค์ประกอบในการตัดสินใจได้เป็น 3 องค์ประกอบหลักที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ

1) ความรู้สึกทางด้านความปลอดภัยในการทำงาน

2) ความสะดวกสบายของระบบป้องกันการตกที่มีผลต่อการทำงาน

3) ต้นทุนระบบป้องกันการตก

โดยให้วิศวกรควบคุมความปลอดภัยหรือผู้ที่มีประสบการณ์ทางด้านความปลอดภัยมาประเมินความสำคัญของแต่ละคู่ตามวิธี AHP ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบสอบถามการประเมินเปรียบเทียบรายคู่

มากกว่า ◄——— เท่ากัน ———► มากกว่า

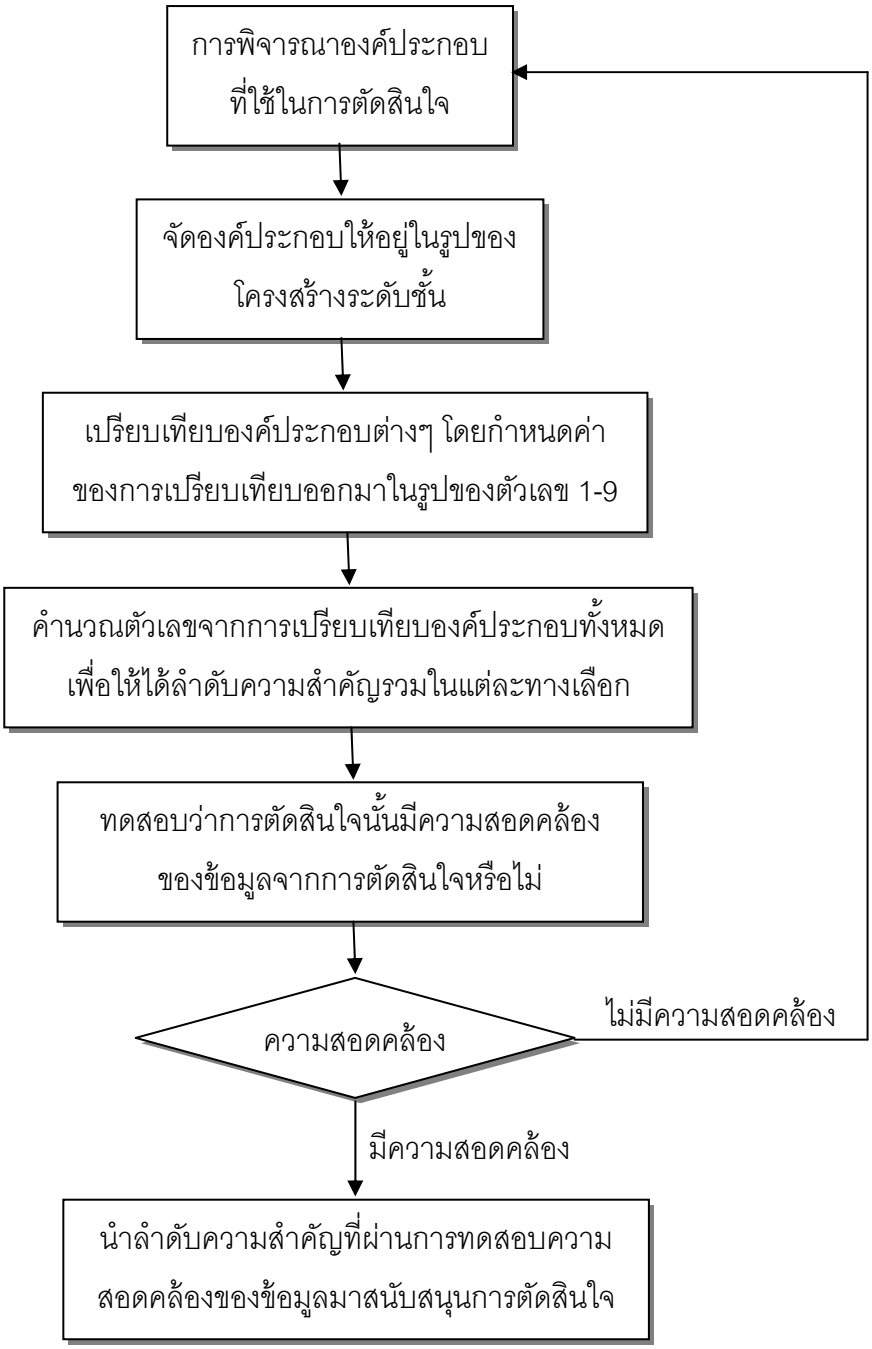
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย																		ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย																		ต้นทุน
ความสะดวก																		ต้นทุน

จากตารางที่ 3.2 เมื่อผู้ประเมินต้องการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยความสะดวก ถ้าผู้ประเมินเห็นว่าปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยความสะดวกในระดับปานกลาง เมื่อดูเกณฑ์การให้น้ำหนักตามตารางที่ 3.1 ผู้ประเมินให้คะแนน 5 คะแนนทางด้านซ้ายที่ค่อนไปทางปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัย

3) **การสังเคราะห์ผลการตัดสินใจ** เป็นการรวมวิธีในขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยคำนวณน้ำหนักความสำคัญทั้งหมดในแต่ละทางเลือกที่สนองตอบวัตถุประสงค์ ภายใต้องค์ประกอบการตัดสินใจ ทางเลือกที่ได้รับน้ำหนักความสำคัญสูงสุด สามารถใช้เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

4) **การประเมินความสอดคล้องของการตัดสินใจ** กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์นี้มีการหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio) ขององค์ประกอบทั้งหมด ซึ่งค่าอัตราส่วนความสอดคล้องที่ได้ไม่ควรมีค่าเกิน 0.05 สำหรับ 3 ปัจจัย (0.09 สำหรับ 4 ปัจจัย และ 0.10 สำหรับ 5 ปัจจัยขึ้นไป) หากค่าที่ได้เกินกว่า 0.05 ไม่ว่าที่ลำดับใดก็ตามแสดงว่า

กระบวนการนี้ทำการตัดสินใจไม่ได้ ต้องมีการแก้ไขใหม่จนกว่าค่าอัตราส่วนความสอดคล้องมีค่าไม่เกิน 0.05 โดยสามารถสรุปขั้นตอนของวิธี AHP ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แผนภาพสรุปขั้นตอนของวิธี AHP (ดัดแปลงจาก วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542)

เกษมศักดิ์ มิตรเกษม (2536) ได้ศึกษากระบวนการของวิธี AHP ใช้วิธีของไอเกนเวคเตอร์ในการหาลำดับความสำคัญของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบในเมตริกซ์ และหาความสอดคล้องในการตัดสินใจของผู้ให้ข้อมูล โดยการตรวจสอบความสอดคล้องของการตัดสินใจพิจารณาโดยใช้ค่าไอเกนซึ่งมีแนวคิดพื้นฐานดังต่อไปนี้

สมมติให้ C_1, C_2, C_3, ...,C_n เป็นองค์ประกอบหรือทางเลือกต่างๆ ที่กำลังพิจารณาในระดับชั้นใดชั้นหนึ่ง

ค่า a_{ij} เป็นค่าความสำคัญขององค์ประกอบ i เมื่อเทียบกับองค์ประกอบ j ซึ่งสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้โดยที่

$$A = (a_{ij})$$

และ

$$a_{ij} = 1/a_{ji}$$

ค่าความสำคัญที่อยู่ในเมตริกซ์ (a_{ij}) สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการตัดสินใจได้ต่อเมื่อ

$$a_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \qquad \text{สำหรับ i, j และ k ทั้งหมด}$$

โดยเรียกรูปแบบของเมตริกซ์นี้ว่า เมตริกซ์สอดคล้อง (Consistency Matrix) และจากที่เมตริกซ์ของค่าความสำคัญเป็นเมตริกซ์สอดคล้อง ได้ว่าค่า a_{ij} เป็นผลมาจากค่าน้ำหนักของปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบกัน นั่นคือ

$$a_{ij} = w_i / w_j \qquad \text{โดยที่ i, j = 1, 2,..., n} \quad (1)$$

$$a_{ij} * a_{jk} = (w_i / w_j) * (w_j / w_k)$$

$$= w_i / w_k = a_{ik}$$

และ

$$a_{ji} = w_j / w_i = 1 / (w_i / w_j) = 1 / a_{ij}$$

พิจารณาในกรณีที่ A เป็นเมตริกซ์สอดคล้อง

$$A * x = y \qquad \text{โดยที่ } x = (x_1, x_2,\ldots, x_n)$$

$$y = (y_1, y_2,\ldots, y_n)$$

นั่นคือ

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_i = y_i \qquad \text{โดยที่ } i = 1, 2,\ldots, n$$

และจากสมการ (1)

$$a_{ij} * w_j / w_i = 1 \qquad \text{โดยที่ } i, j = 1, 2,\ldots, n$$

ดังนั้น

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}w_j / wi = n \qquad \text{โดยที่ } i = 1, 2,\ldots, n$$

หรือ

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}w_j = n * wi \qquad \text{โดยที่ } i = 1, 2,\ldots, n$$

นั่นคือ

$$A * W = n * W \qquad (2)$$

จากสมการ (2) ตามทฤษฎีเมตริกซ์แสดงให้เห็นได้ว่า n และ w เป็นค่าไอเกน (Eigenvalue) และไอเกนเวคเตอร์ (Eigenvector) ของเมตริกซ์ตามลำดับ เราสามารถเขียนสมการ (2) อยู่ในรูปแบบเต็มได้เป็น

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

ในทางปฏิบัติ ค่า a_{ij} เป็นค่าความสำคัญที่ได้จากการใช้วิจารณญาณของผู้ตัดสินใจเปรียบเทียบปัจจัยหรือทางเลือก i กับ j ภายใต้ปัจจัยหนึ่งในระดับถัดไป ดังนั้นค่า a_{ij} ที่ได้อาจเบี่ยงเบนไปจากที่ควรเป็นตามทฤษฎี มีผลทำให้สมการ (2) ไม่เป็นจริง ในกรณีดังกล่าวนี้เรา

สามารถนำหลักการของทฤษฎีเมตริกซ์มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องของข้อมูลในเมตริกซ์ที่พิจารณา กล่าวคือ

1) จากความจริงที่ว่า ถ้า $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$ เป็นค่าที่เหมาะสมของสมการ

$$A * X = \lambda * X$$

นั่นคือ λ_n เป็นค่าไอเกนของเมตริกซ์ A และถ้า $a_{ij} = 1$ สำหรับทุกๆ i ได้ว่า

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = n$$

ดังนั้นสมการ (2) เป็นจริงได้ต่อเมื่อ ทุกๆ ค่าไอเกนเป็นศูนย์ ยกเว้นค่าหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับ n(λ_{max})

2) ในกรณีที่ค่า a_{ij} ของเมตริกซ์ A ซึ่งเป็นเมตริกซ์ส่วนกลับ (Reciprocal Matrix) มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าไอเกนของเมตริกซ์ A ก็มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจากความจริงดังกล่าวข้างต้น ถ้า a_{ij} ของเมตริกซ์ A เท่ากับ 1 สำหรับทุกๆ i และเมตริกซ์ A เป็นเมตริกซ์ส่วนกลับ ค่า a_{ij} ที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ไม่มีผลทำให้ค่า λ_{max} เปลี่ยนแปลงจากค่า n มากนัก และค่าไอเกนที่เหลือก็ยังคงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยหรือทางเลือกจากเมตริกซ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยหรือทางเลือกต่างๆ ในระดับเดียวกัน ได้จาก

$$A * W = \lambda_{max} * W$$

และค่าที่เป็นตัวชี้ค่าความเบี่ยงเบนของ λ_{max} ไปจาก n เท่ากับ

$$\text{ดัชนีความสอดคล้อง (C.I.)} = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

ค่าความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ในระดับเดียวกัน สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินปัญหาได้ ก็ต่อเมื่อ ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง มีค่าน้อยกว่า 0.1 ทั้งนี้

อัตราส่วนความสอดคล้อง (C.R.) = C.I. / R.I,

โดยที่ดัชนีเชิงสุ่ม (Random Index, R.I.) เป็นค่าดัชนีความสอดคล้อง ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างของเมตริกซ์ส่วนกลับที่ใช้เกณฑ์มาตรฐานของค่าความสำคัญอยู่ระหว่าง 1-9 สำหรับค่าเฉลี่ยของดัชนีเชิงสุ่มที่ได้จากการทดลองในแต่ละมิติของเมตริกซ์ n = 1 ถึง n = 10 แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยของดัชนีเชิงสุ่มในแต่ละเมตริกซ์ n x n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ข้อดีของการใช้วิธี AHP (อ้างถึงในจุฑาภรณ์ บูรณะโอสถ, 2543)

ข้อดีของการใช้โครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchies) ตามแนวคิดของ Saaty (1980) ซึ่งข้อดีของการใช้การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (pairwise comparison) คือ

1) สามารถให้ค่าความสอดคล้อง ซึ่งจำเป็นในการตัดสินใจ

2) ให้การประมาณค่าที่ดีกว่า เพิ่มความยุติธรรมและลดอคติ

3) ให้ผลที่สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยใช้หลักคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างมาตรตัวเลขในการตัดสินและเปรียบเทียบการวัดที่แบ่งแยกความรู้สึกหรือคุณค่าของสิ่งต่างๆ ได้ง่ายที่เกิดความสอดคล้องระหว่างการตัดสินคุณภาพและมาตรตัวเลขที่ใช้

ข้อได้เปรียบของวิธี AHP จากแนวคิดของ Dyer and Forman (1992)

1) สามารถใช้กับการตัดสินใจคนเดียว และใช้ได้ดีกับการตัดสินใจเป็นกลุ่ม ในการตัดสินใจเป็นกลุ่ม สามารถช่วยอภิปรายหาวัตถุประสงค์รวม และทางเลือกได้ในขณะสร้างโครงสร้างการตัดสินใจ

2) เป็นกระบวนการที่ให้ความสำคัญในขั้นตอนการตัดสินใจ

3) สามารถใช้ได้ดีกับปัญหาที่มีความสลับซับซ้อน กระบวนการนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ไม่ยุ่งยากสับสน และมีความยืดหยุ่นสูงในการปรับเปลี่ยนน้ำหนักความสำคัญหรือองค์ประกอบการตัดสินใจ

4) ใช้งานได้ทั้งปัญหาที่ประกอบด้วยปัจจัยที่ตีค่าเป็นเงินได้ และตีค่าเป็นเงินไม่ได้

5) การสร้างปัญหาให้เป็นไปตามโครงสร้างการตัดสินใจของวิธี AHP ช่วยให้ผู้ตัดสินใจไม่พลาดในการพิจารณาองค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจ หรือวัตถุประสงค์ ตลอดจนทางเลือกที่จำเป็นในขณะตัดสินใจ

นอกจากนี้ นภดล ห้อธิวงศ์, 2539 (อ้างถึงในจุฑาภรณ์ บูรณะโอสถ, 2543) มีแนวคิดเกี่ยวกับข้อได้เปรียบของเทคนิค AHP เพิ่มเติมดังนี้

1) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ไม่ซับซ้อนและสามารถเข้าใจได้ง่าย

2) สามารถขจัดอุปสรรคจากความแตกต่างทางสถานะทางสังคมขององค์ประชุม

3) สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงเหตุผลของการตัดสินใจ

4) มีลักษณะที่สามารถใช้ได้ทั้งการพิจารณาที่ได้ค่าของทางเลือกเป็นตัวเลข และเป็นนามธรรม

5) เป็นกระบวนการที่ใช้หลักจิตวิทยาและมีวิธีตรวจความสอดคล้อง (consistency ratio)

6) เป็นกระบวนการที่ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถลำดับความคิดได้อย่างครบถ้วน และไม่สับสนเมื่อมีองค์ประกอบการพิจารณาที่ค่อนข้างซับซ้อน

7) เหมาะสมกับการคัดเลือกโครงการที่ไม่มีข้อมูลทางสถิติและความน่าจะเป็น แต่อาศัยวิจารณญาณของผู้รู้ (Expert)

3.6 สรุปท้ายบท

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกราวกันตกมา 3 รูปแบบ คือ 1) ราวกันตกแบบแนวนอน ราวบนและราวกลาง 2) ราวกันตกแบบแนวนอน ระยะห่างระหว่างราว 30 เซนติเมตร 3) ราวกันตกแบบตะแกรง ช่องขนาด 25 x 25 เซนติเมตร และแบ่งออกเป็นอีก 2 ระดับความสูง จึงได้ราวกันตกมาทั้งหมด 6 แบบ โดยพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 3 เครื่องมือ ตามลักษณะวิธีการทดสอบ ได้แก่ 1) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก 2) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง 3) เครื่องมือทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ซึ่งโปรแกรมหลักที่ใช้ในการออกแบบจำลองกราฟิก 3 มิติเพื่อใช้พัฒนาเครื่องมือวัดความรู้สึก คือ “3D Studio MAX 2010” และในส่วนของการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ 1) การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก เพื่อหาเครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากที่สุด 2) การวิเคราะห์ทางเลือกในการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสม เพื่อหารูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

บทที่ 4

การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

ในการก่อสร้างส่วนมากในปัจจุบัน ระบบป้องกันการตกที่ใช้กัน เช่น ราวกันตก ทางผู้ประกอบการไม่ได้พิจารณาถึงความรู้สึกของคนงานต่อรูปแบบราวกันตกที่ติดตั้ง ซึ่งความรู้สึกนั้นอาจส่งผลต่อความสามารถในการทำงานที่ต้องทำใกล้ราวกันตกนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบทดสอบเพื่อทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อราวกันตกในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงแทนการทดสอบจริงโดยไม่เป็นการเสี่ยงอันตรายต่อผู้ทดสอบ

4.1 การพิจารณารูปแบบราวกันตกที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก

รูปแบบของราวกันตกในการวิจัยนี้ได้พิจารณาจากราวกันตกที่ใช้อยู่ทั่วไปในสถานที่ก่อสร้างอาคารสูงจริงในกรุงเทพมหานคร การวิจัยนี้ได้จำแนกรูปแบบราวกันตกออกเป็น 3 รูปแบบหลัก คือ ราวกันตกแบบราวบนและราวกลาง ราวกันตกแบบราวบนและราวกลางสองแถว และราวกันตกแบบตะแกรง ดังภาพที่ 4.1 – ภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.1 ราวกันตกแบบราวบนและราวกลาง

ภาพที่ 4.2 ราวกันตกแบบราวบนและราวกลางสองแถว

ภาพที่ 4.3 ราวกันตกแบบตะแกรง

ส่วนความสูงใช้ตามมาตรฐานการออกแบบราวกันตกคือราวบนสูง 90 ซม. จากระดับพื้นที่ทำงาน และได้พิจารณารูปแบบใหม่ของราวกันตกให้มีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 120 ซม. จากระดับพื้นที่ทำงาน ในการวิจัยนี้จึงได้รูปแบบราวกันตกรวมทั้งหมด 6 แบบดังนี้

ราวกันตกแบบที่ 1 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 90 ซม.

ราวกันตกแบบที่ 2 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 120 ซม.

ราวกันตกแบบที่ 3 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.

ราวกันตกแบบที่ 4 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.

ราวกันตกแบบที่ 5 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.

ราวกันตกแบบที่ 6 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.

4.2 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อราวกันตก สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในการวิจัยนี้พัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึก 3 เครื่องมือได้แก่ 1) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก 2) เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง 3) เครื่องมือทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยมีรายละเอียดของแต่ละเครื่องมือทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก

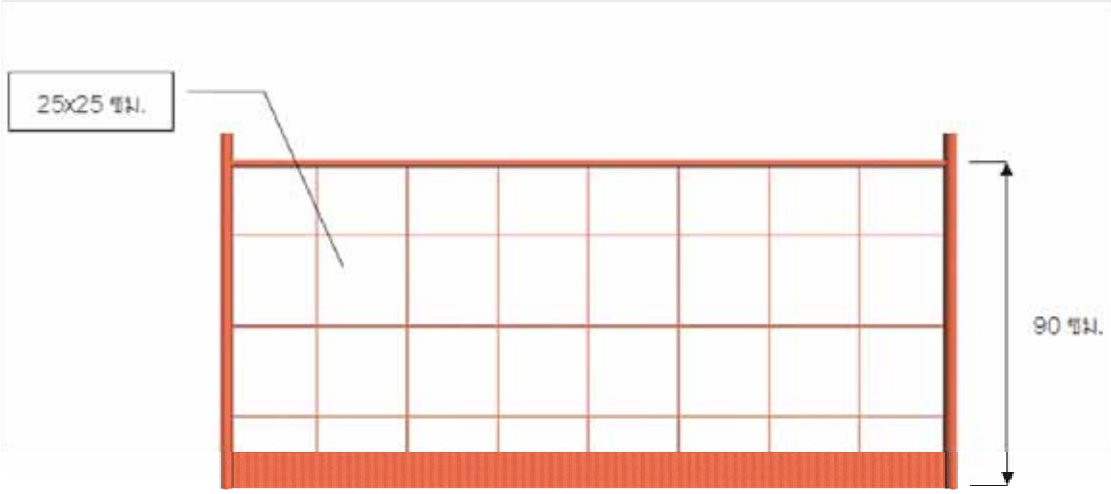
ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบนี้ เริ่มจากการสร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติเฉพาะราวกันตกทั้ง 6 แบบ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังภาคผนวก ซ ได้ภาพ 2 มิติดังแสดงในภาพที่ 4.4 - ภาพที่ 4.9

ภาพที่ 4.4 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 1

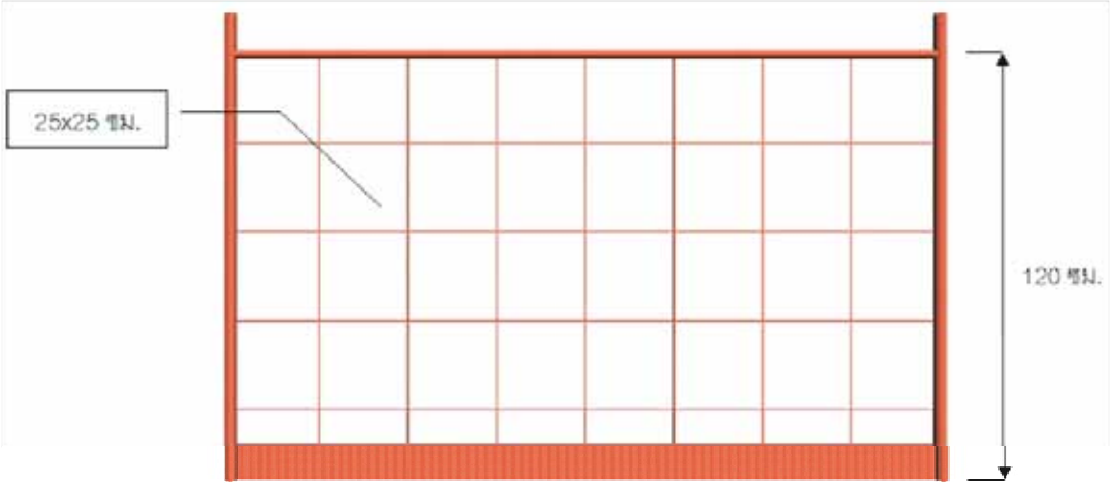
ภาพที่ 4.5 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 2

ภาพที่ 4.6 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 3

ภาพที่ 4.7 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 4



ภาพที่ 4.8 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 5



ภาพที่ 4.9 ภาพบอกลักษณะราวกันตกแบบที่ 6

4.2.2 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง

ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบนี้ ทำโดยการนำภาพของคนที่ยืนริมขอบอาคารที่ไม่มีราวกันตก แล้วนำภาพแบบจำลองกราฟิกของราวกันตกแบบต่างๆ จากแบบจำลองที่ใช้พัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก นำมาต่อราวกันตกให้ยาวขึ้น โดยปรับมุมมองของราวกันตกให้เข้ากับภาพตามขอบอาคารและความสูงของ

คนในภาพ หลังจากนั้นทำการซ้อนภาพ ได้ภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 4.10 - ภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.10 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 1 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

ภาพที่ 4.11 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 2 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

ภาพที่ 4.12 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 3 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

ภาพที่ 4.13 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 4 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

ภาพที่ 4.14 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 5 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

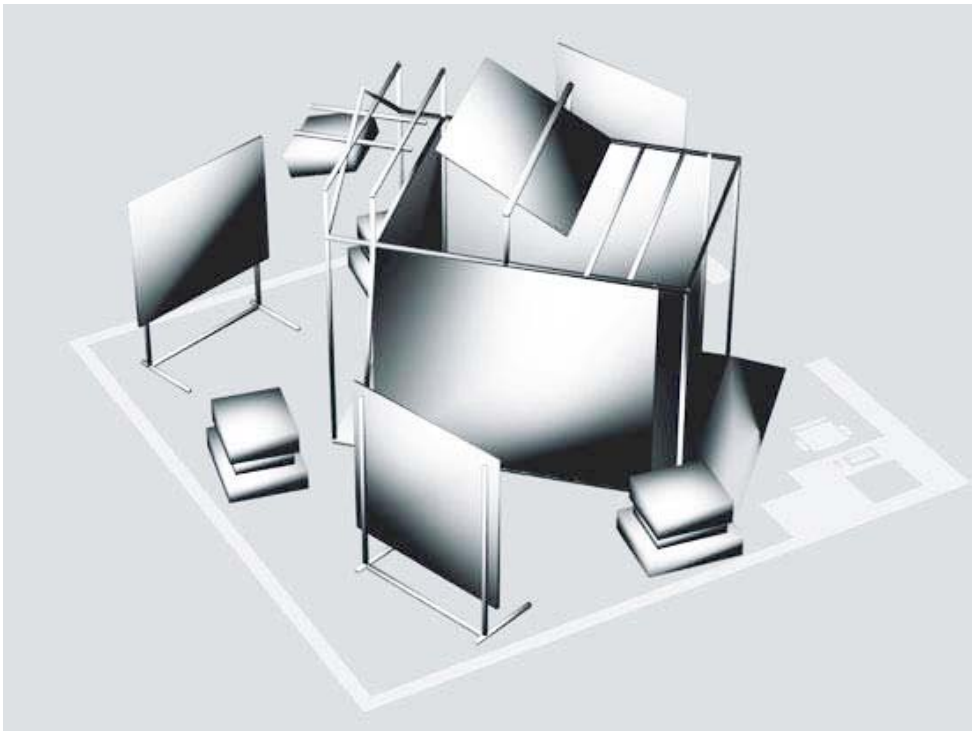
ภาพที่ 4.15 ภาพราวกันตกจำลองแบบที่ 6 เทียบกับขนาดตัวของคนงาน

4.2.3 การพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ในการพัฒนาเครื่องมือทดสอบความรู้สึกโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เริ่มจากการศึกษาเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง สร้างแบบจำลองกราฟิกและการพัฒนาโปรแกรมสำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยมีรายละเอียดในการพัฒนาดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในการทดสอบความรู้สึกของคนงานต่อราวกันตกสำหรับงานวิจัยนี้คือเครื่องมือที่เรียกว่า Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) ซึ่งมีลักษณะตามที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 โดย CAVE ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบบที่มีหน้าจอแสดงผล 4 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านล่าง ซึ่งได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับควบคุมการประมวลผลทั้งหมด 5 เครื่อง โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ 4 เครื่อง ทำหน้าที่ควบคุมจอภาพและโปรเจคเตอร์ในแต่ละด้านของหน้าจอแสดงผล ดังภาพที่ 4.16 ส่วนคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 5 มีชื่อว่า Trackd ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจากการเคลื่อนที่ภายในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยผ่านอุปกรณ์ที่เป็น Interface ซึ่งในงานวิจัยนี้มีอุปกรณ์ที่เป็น Interface คือ Wanda ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็น Mouse ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป กล่าวคือ สามารถใช้เป็นตัวชี้ (Pointer) เคลื่อนที่ และเคลื่อนย้ายวัตถุในโลกสภาพแวดล้อมเสมือนได้



ภาพที่ 4.16 ส่วนประกอบของเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE)

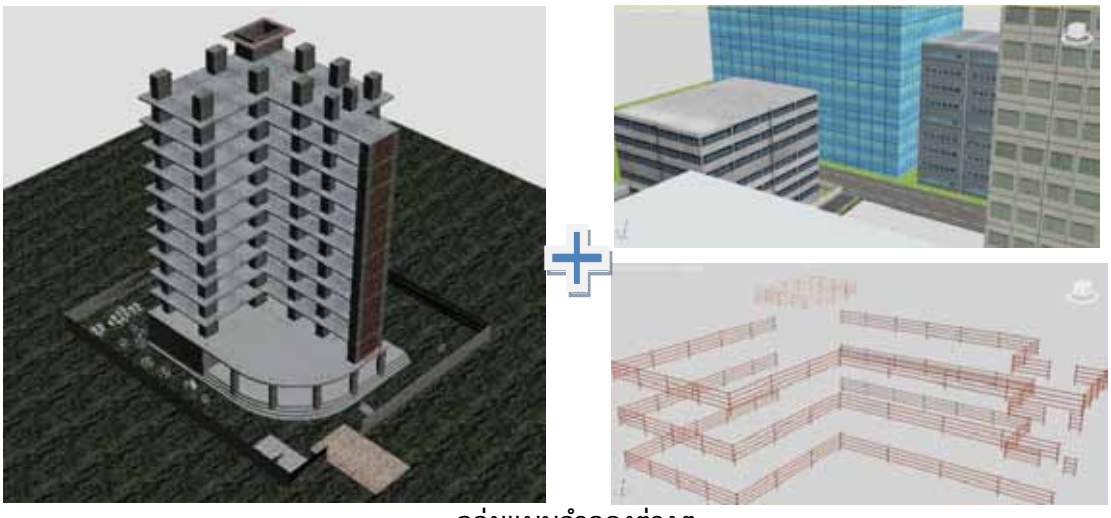
(ที่มา : http://www.outlookseries.com/news/Science/1814.h22.jpg)

2) การพัฒนาแบบจำลองกราฟิกเพื่อจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ในการสร้างแบบจำลองกราฟิกหรือโมเดลสามมิติเพื่อนำไปใช้ในการสร้างหรือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนั้นสามารถใช้ซอฟแวร์สร้างโมเดลสามมิติทั่วไป เช่น “3D Studio Max”, “Maya”, “AutoCAD”, “Google SketchUp”, “SolidWorks” เป็นต้น โดยในการเลือกใช้ซอร์ฟแวร์สำหรับการสร้างโมเดลสามมิติขึ้นกับความถนัดของผู้พัฒนาแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟแวร์สร้างโมเดลสามมิติ “3D Studio MAX” เวอร์ชั่น 2010 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองกราฟิก โดยแยกแบบจำลองกราฟิกออกเป็นหลายกลุ่ม แล้วรวมแบบจำลองทั้งหมดในโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ได้แบบจำลองกราฟิกดังภาพที่ 4.17 ซึ่งขั้นตอนและรายละเอียดของซอฟแวร์สามารถดูได้ในภาคผนวก ซ โดยในการวิจัยนี้ได้แบ่งกลุ่มแบบจำลองเป็นดังนี้

- กลุ่มแบบจำลองโครงสร้างพื้นฐานของอาคารสูง
- กลุ่มแบบจำลองสภาพแวดล้อมรอบอาคารสูง
- กลุ่มแบบจำลองลิฟต์โดยสาร
- กลุ่มแบบจำลองราวกันตกทั้ง 6 แบบ
- กลุ่มแบบจำลองผ้าใบกันฝุ่น
- กลุ่มแบบจำลองเหล็กเส้นที่ยื่นออกมาจากเสาและผนังช่องลิฟต์

ทั้งนี้ในการแบ่งกลุ่มต่างๆ เพื่อให้โปรแกรมสามารถเรียกใช้และสามารถแสดงผลของแบบจำลองในแต่ละกลุ่ม ซึ่งถ้ารวมอยู่ในแบบจำลองเดียวกัน ทำให้จำนวนชิ้นของแบบจำลองมีมากจนโปรแกรมไม่สามารถแสดงผลของแบบจำลองได้ อีกทั้งเพื่อความสะดวกในการจัดการและเรียกใช้แบบจำลองต่างๆ



กลุ่มแบบจำลองต่าง ๆ

รวมกลุ่มแบบจำลองต่าง ๆ ในโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ภาพที่ 4.17 แบบจำลองกราฟิกสถานที่ก่อสร้างอาคารสูง

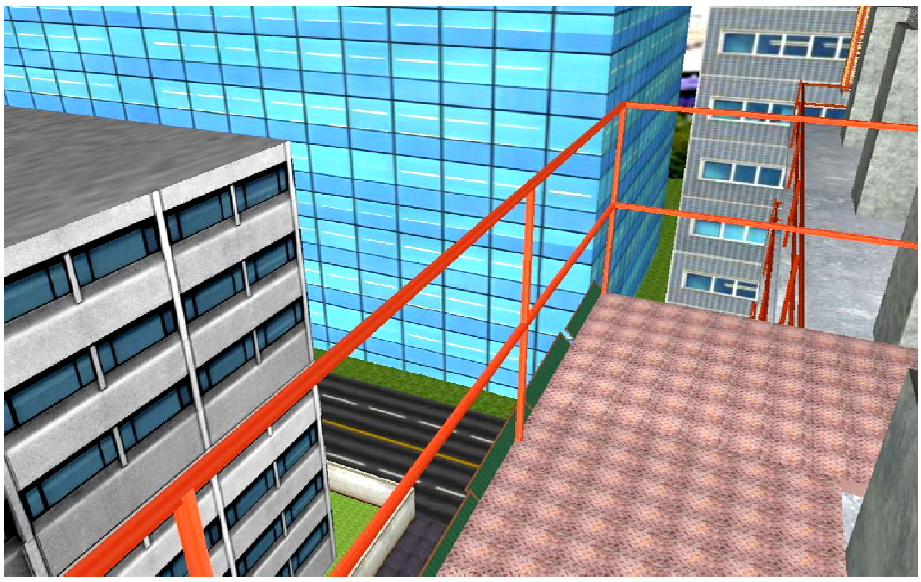
3) การพัฒนาโปรแกรมสำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

การสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนั้นเป็นงานด้าน Multimedia ชนิดหนึ่งซึ่งส่วนประกอบหลักคือโมเดลกราฟิกที่สร้างจากโปรแกรม “3D Studio MAX 2010” และซอฟแวร์ประมวลผลสำเร็จรูป โดยใช้โปรแกรม “Visual Studio 2010” สำหรับพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยความสัมพันธ์ระหว่างโมเดลที่สร้างขึ้นและซอฟแวร์ประมวลผลต้อง

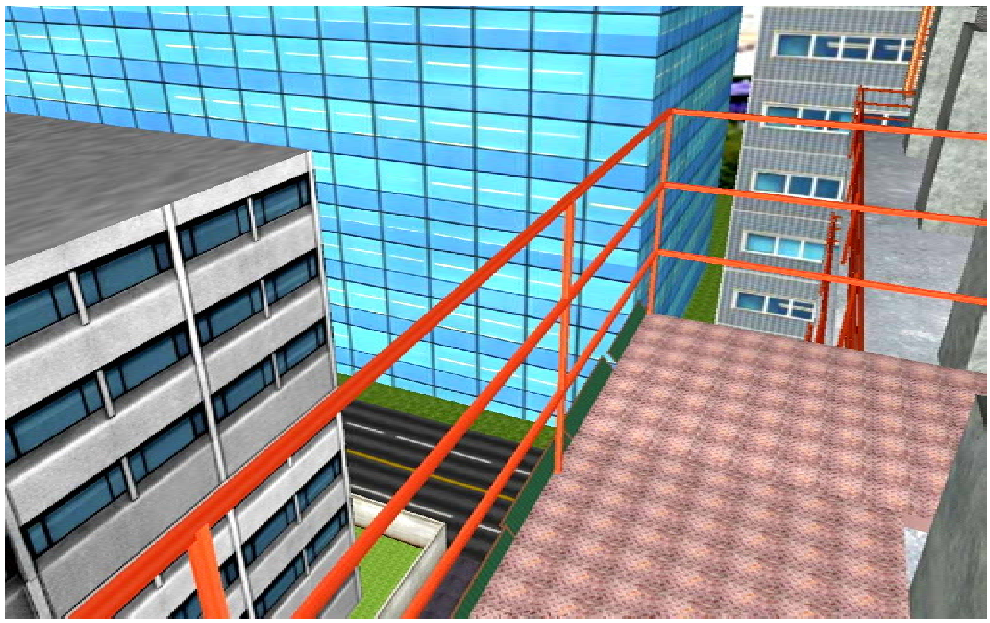
ใช้ชุดคำสั่งพื้นฐานในการควบคุม ซึ่งเมื่อแบ่งตามภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม แบ่งได้ 2 กลุ่มหลักคือ

- กลุ่มที่ใช้ภาษา C/C++ เป็นพื้นฐาน ซึ่งมีชุดคำสั่งประมวลผลด้านกราฟิก 2 ประเภทคือ DirectX และ OpenGL
- กลุ่มที่ใช้ภาษา Java เป็นพื้นฐาน

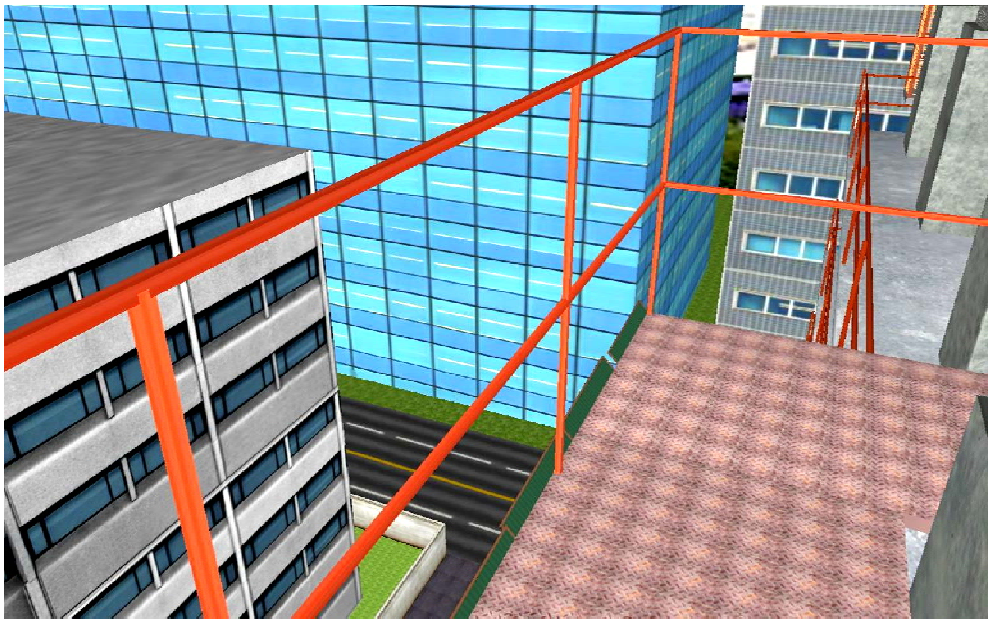
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดคำสั่ง OpenGL ซึ่งใช้ภาษา C++ เป็นพื้นฐาน เพื่อให้ง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้กับชุดคำสั่งแสดงผลของเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่เรียกว่า CAVE Library ของเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ชื่อ “CAVE” ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้รองรับการใช้งานจากภาษา C++ และ OpenGL โดยขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมและคำอธิบายแสดงในภาคผนวก ฌ และผลจากการพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำแบบทดสอบความรู้สึกโดยให้คนงานจริงเข้าอยู่ในเครื่องจำลอง ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าเสมือนจริง โดยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถเปลี่ยนรูปแบบราวกันตกทั้ง 6 แบบในแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงได้ทันที ดังแสดงภาพที่ 4.18 - ภาพที่ 4.23



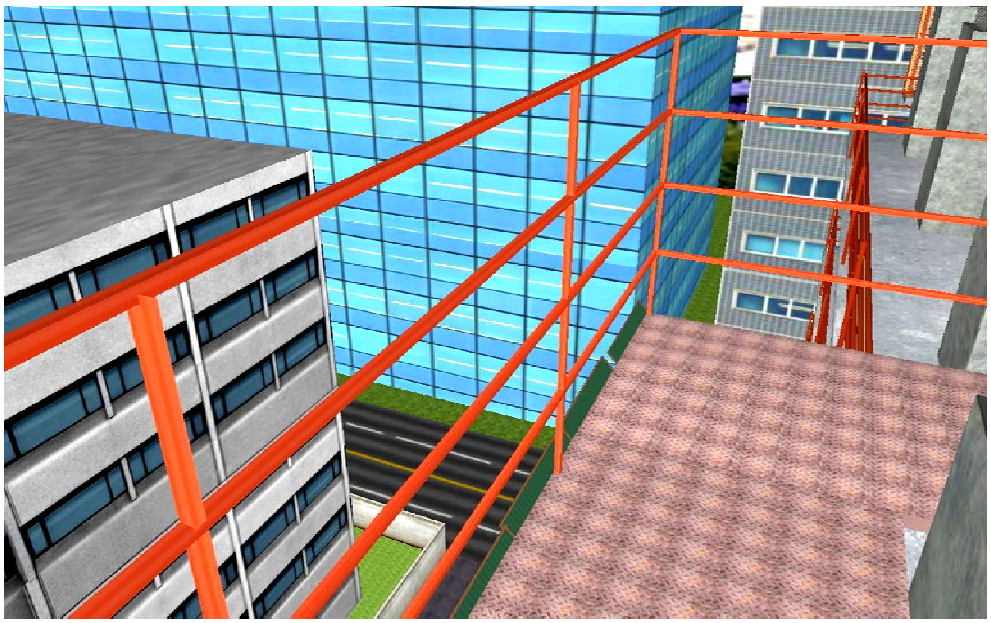
ภาพที่ 4.18 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 1 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



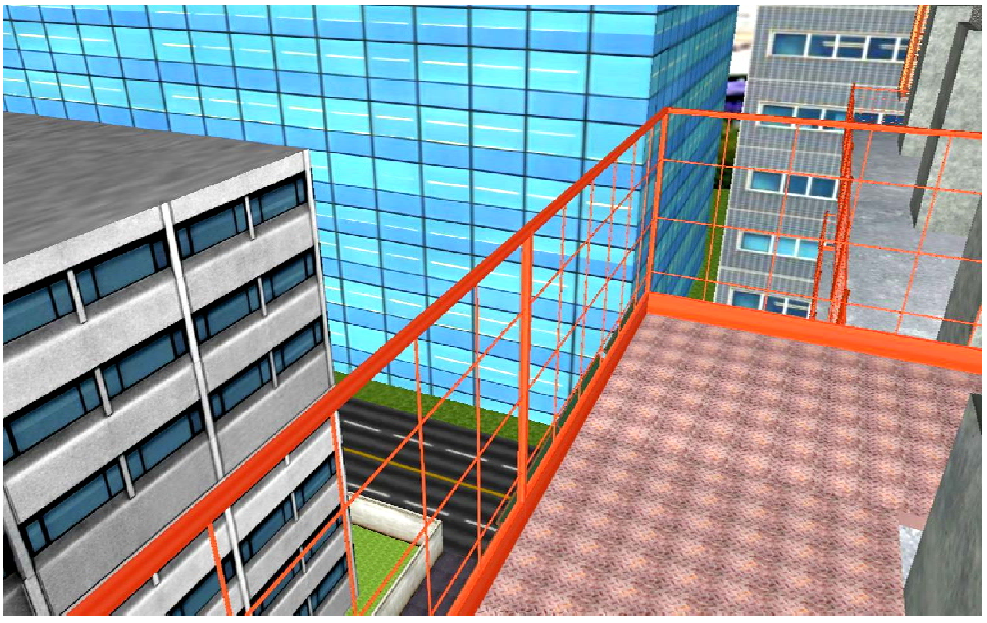
ภาพที่ 4.19 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 2 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



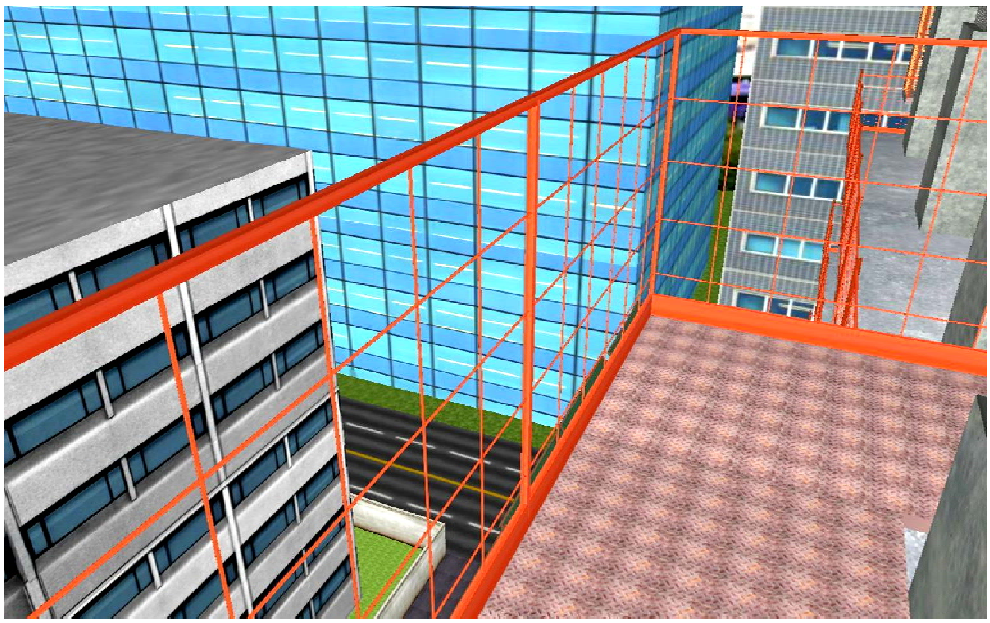
ภาพที่ 4.20 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 3 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



ภาพที่ 4.21 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 4 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



ภาพที่ 4.22 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 5 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



ภาพที่ 4.23 แบบจำลองราวกันตกแบบที่ 6 ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

4.3 การวัดความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อรูปแบบราวกันตก

การวัดความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างในการวิจัยนี้ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนทั้งหมด 10 ราย โดยไม่จำกัดเพศ อายุ และการศึกษา โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องมือวัดความรู้สึก 3 แบบ แบบทดสอบละ 4 ครั้ง โดยให้ทำแบบทดสอบ 1 แบบทดสอบ 1 ครั้งต่อวันเพื่อไม่ให้จดจำคำตอบ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของชั่วโมงการทำงานของคนงานที่ต้องเสียไป จึงต้องทำ 3 แบบทดสอบพร้อมกันใน 1 ครั้งต่อวัน ดังนั้นคนงาน 1 คนต้องทำแบบทดสอบ 3 แบบทดสอบภายใน 4 วัน วันละ 1 ครั้ง

4.3.1 การพัฒนาแบบสอบถามในการวัดความรู้สึก

การวัดความรู้สึกของคนงานต่อราวกันตก เมื่อพิจารณาตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบราวกันตก มีความรู้สึกที่ต้องการวัดจากคนงานก่อสร้างด้วยกัน 2 ด้านคือ ความรู้สึกด้านความปลอดภัย และ ความรู้สึกด้านความสะดวกในการทำงาน โดยสามารถนิยามได้ดังนี้

- *ด้านความรู้สึกปลอดภัย* คือ ความรู้สึกถึงความปลอดภัยในตัวคนงานกับราวกันตก หรือความรู้สึกกลัวตกลงจากอาคาร ถ้าคนงานรู้สึกกลัวตกมากหรือไม่ปลอดภัยสูง คะแนนความปลอดภัยที่ได้ต่ำ แต่ถ้าคนงานรู้สึกกลัวตกน้อยหรือปลอดภัยสูง คะแนนความปลอดภัยที่ได้สูง
- *ด้านความสะดวกในการทำงาน* คือ ระหว่างการทำงานที่ต้องทำใกล้ราวกันตก คนงานมีความรู้สึกสะดวกสบายในการทำงาน เช่น การขนส่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุ พิจารณาจากผลกระทบของราบกันตกต่อความสะดวกในการทำงาน ถ้ามีผลกระทบมาก หรือทำงานไม่สะดวก คะแนนความสะดวกที่ได้ต่ำ แต่ถ้ามีผลกระทบน้อย หรือทำงานสะดวก คะแนนความสะดวกที่ได้สูง

ซึ่งในแต่ละด้านของความรู้สึกสามารถแบ่งระดับความรู้สึกเป็น 5 ระดับด้วยกัน โดยให้เป็นเกณฑ์คะแนน 1-5 มีรายละเอียดดังนี้

ความรู้สึกด้านความปลอดภัย

5 = ปลอดภัยมาก สามารถทำงานได้ดี

4 = ปลอดภัยค่อนข้างมาก ทำงานได้ช้าลง แต่ไม่มากของที่เคยทำได้

3 = ปลอดภัยปานกลาง ทำงานได้ช้าลงครึ่งหนึ่งของที่เคยทำได้

2 = ปลอดภัยเล็กน้อย ทำงานได้ช้าลงค่อนข้างมากของที่เคยทำได้

1 = ไม่ปลอดภัย ทำงานไม่ได้

ความรู้สึกด้านความสะดวกในการทำงาน

5 = ทำงานได้สะดวกมาก ไม่ติดขัด

4 = ทำงานได้ค่อนข้างสะดวก แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงเล็กน้อย

3 = ทำงานได้ แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงครึ่งหนึ่ง

2 = ทำงานได้ไม่สะดวกนัก ค่อนข้างติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงมาก

1 = ทำงานไม่ได้ ติดขัดไปหมดกับราวนี้

โดยวิธีการตอบของคนงาน ทำให้ง่ายในการตอบมากที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้คนงานเกิดการสับสนและให้เข้าใจง่าย โดยทำแบบสอบถามเป็นตารางให้ทำเครื่องหมายในตารางของแต่ละด้านของความรู้สึก พร้อมบรรยายเกณฑ์คะแนนของแบบสอบถามในแต่ละด้านของความรู้สึกใต้ตารางให้คะแนนความรู้สึก ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รูปแบบตารางให้คะแนนความรู้สึก

	5	4	3	2	1	**ตอบไม่ได้**
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

4.3.2 ขั้นตอนการวัดความรู้สึก

ในการวิจัยนี้มีขั้นตอนการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างในแต่ละเครื่องมือวัดความรู้สึกทั้งหมด 4 ครั้ง โดยเว้นระยะเวลาการทดสอบ 1 วันต่อครั้ง ทำการสลับวิธีการทดสอบในแต่ละครั้ง และในแต่ละแบบทดสอบวัดความรู้สึกกับราวกันตก 6 แบบ โดยทำการสุ่มแบบราวกันตกเสมอ ไม่เหมือนกันในแต่ละครั้ง และแต่ละแบบทดสอบ เพื่อไม่ต้องการให้ผู้ทดสอบจดจำรูปแบบ หรือคำตอบของคะแนนความรู้สึกที่เคยตอบไว้ เพื่อต้องการวัดความรู้สึกที่แท้จริงต่อราวกันตกแบบต่างๆ ในขณะนั้น โดยสรุปวิธีการทดสอบในแต่ละครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 การทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก

การทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน

การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ครั้งที่ 2 การทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน
การทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก
การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ครั้งที่ 3 การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
การทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก
การทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน

ครั้งที่ 4 การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
การทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน
การทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก

4.3.3 วิธีการวัดความรู้สึก

จากเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง 3 แบบ คือ เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก เครื่องมือทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน และเครื่องมือทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง สามารถแบ่งวิธีการวัดความรู้สึกได้ 2 กลุ่ม ตามลักษณะของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก ดังนี้

1) กลุ่มวิธีทดสอบด้วยภาพสองมิติ

วิธีทดสอบด้วยภาพสองมิติประกอบด้วยเครื่องมือการทดสอบความรู้สึก 2 แบบ คือ การทดสอบด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก และการทดสอบด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน วัดโดยให้คนงานนั่งทำแบบทดสอบโดยให้ดูภาพสองมิติทีละรูปแบบของราวกันตกแบบสุ่ม พร้อมทั้งอธิบายการลงคะแนนและเกณฑ์การให้คะแนนในกรณีที่คนงานไม่เข้าใจ แล้วให้คนงานลงคะแนนตามความรู้สึกของคนงานตามรูปแบบของราวกันตกทั้ง 6 แบบ ดังภาพที่ 4.24

ภาพที่ 4.24 การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยภาพสองมิติ

2) กลุ่มวิธีทดสอบด้วยเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

วิธีทดสอบด้วยเทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง คือ การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง หรือเครื่อง CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) วัดโดยให้คนงานเข้าสู่เครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงหรือเครื่อง CAVE โดยเริ่มจากการเดินจากชั้นล่างของอาคารสูง และเดินขึ้นด้านบนของตึกโดยใช้ลิฟต์โดยสาร เพื่อให้คนงานรับรู้ถึงความรู้สึกของความสูง และให้คนงานเดินไปในบริเวณที่ต้องการวัดความรู้สึกต่อราวกันตก ทำการเปลี่ยนรูปแบบราวกันตกแบบสุ่มทีละรูปแบบ หลังจากนั้นจึงสอบถามคนงานให้ตอบคะแนนตามความรู้สึกของคนงานในแต่ละรูปแบบของราวกันตก จนครบทั้ง 6 รูปแบบ โดยทางผู้วิจัยเป็นผู้จดบันทึกคะแนน ดังภาพที่ 4.25

ภาพที่ 4.25 การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

4.4 สรุปท้ายบท

เครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างต่อราวกันตก มีด้วยกัน 3 แบบคือ ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับตัวคน และเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยทดสอบกับราวกันตก 6 รูปแบบ ทดสอบในความรู้สึกด้านความปลอดภัย และความสะดวกในการทำงาน โดยทำการทดสอบกับคนงาน 10 คน โดย 1 คนทำแบบทดสอบ 3 แบบพร้อมกันใน 1 ครั้ง ครั้งละ 1 วัน ทำทั้งหมด 4 วัน รวมเป็น 4 ครั้งต่อ 1 การทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบของคนงานทั้ง 3 เครื่องมือทดสอบ นำไปวิเคราะห์หาความสามารถของเครื่องมือในบทต่อไป เพื่อพิสูจน์หาเครื่องมือที่มีความสามารถใน

การวัดความรู้สึกมากที่สุดเป็นเครื่องมือหลักในการนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์หาราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

บทที่ 5

การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

ในการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือนี้ มีจุดประสงค์เพื่อหาข้อพิสูจน์ถึงเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่นำเสนอในการวิจัยนี้ สามารถเข้าถึงความรู้สึกของบุคคลได้ดีกว่าเครื่องมืออื่น เช่น ภาพสองมิติ การบอกกล่าว หรืออธิบาย เพื่อลดข้อสงสัย หรือความรู้สึกขัดแย้งว่าเครื่องมืออื่นดีกว่าด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบความรู้สึกของเครื่องมือประเภทต่างๆ

การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้ ใช้จำนวนคนงานทั้งหมด 10 ราย โดยไม่จำกัดเพศ อายุ และการศึกษา ทำแบบทดสอบด้วย 3 เครื่องมือวัดความรู้สึก คือ 1) เครื่องมือทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก 2) เครื่องมือทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง 3) เครื่องมือทดสอบโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยในแต่ละแบบทดสอบนั้นทำการทดสอบ 4 ครั้งต่อหนึ่งแบบทดสอบ ซึ่งใช้ชุดคำถามเดิม โดยเว้นระยะเวลาทำแบบทดสอบในแต่ละครั้ง 1 วันเพื่อไม่ให้ผู้ทำแบบทดสอบจดจำคำตอบเดิม ซึ่งในการทดสอบให้คะแนนความรู้สึกสองด้านด้วยกัน โดยสามารถนิยามได้ดังนี้

- *ด้านความรู้สึกปลอดภัย* คือ ความรู้สึกถึงความปลอดภัยในตัวคนงานกับราวกันตก หรือความรู้สึกกลัวตกลงจากอาคาร ถ้าคนงานรู้สึกกลัวตกมากหรือไม่ปลอดภัยสูง คะแนนความปลอดภัยที่ได้ต่ำ แต่ถ้าคนงานรู้สึกกลัวตกน้อยหรือปลอดภัยสูง คะแนนความปลอดภัยที่ได้สูง
- *ด้านความสะดวกในการทำงาน* คือ ระหว่างการทำงานที่ต้องทำใกล้ราวกันตก คนงานมีความรู้สึกสะดวกสบายในการทำงาน เช่น การขนส่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุ พิจารณาจากผลกระทบของราบกันตกต่อความสะดวกในการทำงาน ถ้ามีผลกระทบมาก หรือทำงานไม่สะดวก คะแนนความสะดวกที่ได้ต่ำ แต่ถ้ามีผลกระทบน้อย หรือทำงานสะดวก คะแนนความสะดวกที่ได้สูง

5.1 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดความสามารถในการวัดความรู้สึกระหว่าง 3 เครื่องมือทดสอบ ใช้วิธีการวัดการกระจายข้อมูล ซึ่งการวัดการกระจายช่วยให้เห็นลักษณะของข้อมูลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่ข้อมูลประกอบด้วยค่าที่มีการกระจายแตกต่างกันมาก แสดงถึงความไม่แน่นอนในการตอบแบบทดสอบนั้น ส่วนในกรณีที่ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายน้อย แสดงถึงความแน่นอนในการตอบแบบทดสอบนั้น ซึ่งการกระจายสามารถบ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึกได้

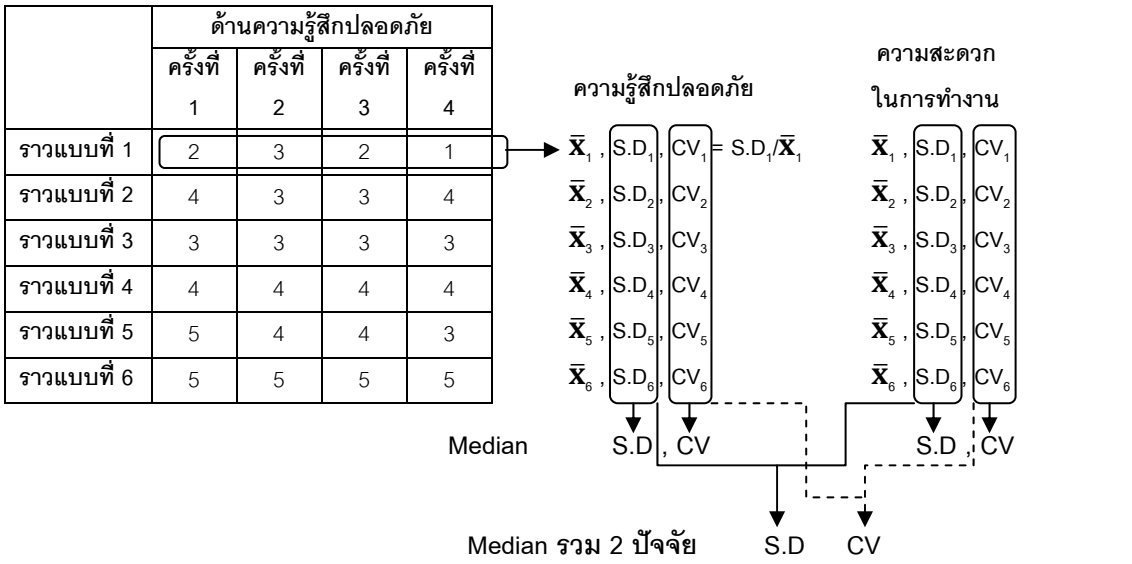
ในการตัดสินใจเลือกราวกันตก ถ้าคนใช้ความคิดพิจารณาของแต่ละบุคคลมากกว่าความรู้สึกภายในบุคคล คำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งมักเปลี่ยนแปลงไปเสมอ ดังนั้นถ้าเครื่องมือทดสอบความรู้สึกที่มีการกระจายน้อยกว่าเครื่องมืออื่น แสดงว่าเครื่องมือนั้นสามารถเข้าถึงความรู้สึกของบุคคลได้มากกว่าเครื่องมืออื่น ดังนั้นเครื่องมือนั้นมีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากกว่าเครื่องมืออื่น

ผลการทดสอบจาก 3 เครื่องมือทดสอบของคนงานทั้งหมด ได้แสดงในภาคผนวก จ โดยวิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างที่เสนอในรูปแบบตารางข้อมูลคะแนนความรู้สึกของคนงาน มีรายละเอียดแสดงในตัวอย่างดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างคะแนนความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง สำหรับแบบทดสอบที่ 1

	ด้านความรู้สึกปลอดภัย				**ด้านความสะดวกในการทำงาน**			
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	**ครั้งที่ 4**
ราวแบบที่ 1	2	3	2	1	1	2	1	1
ราวแบบที่ 2	4	3	3	4	4	2	2	3
ราวแบบที่ 3	3	3	3	3	2	3	2	3
ราวแบบที่ 4	4	4	4	4	3	4	4	4
ราวแบบที่ 5	5	4	4	3	4	3	3	3
ราวแบบที่ 6	5	5	5	5	5	5	5	5

จากตารางที่ 5.1 คะแนนการทดสอบ 4 ครั้งของคะแนนความรู้สึกปลอดภัยของราวทั้ง 6 แบบของคนงานคนที่ 1 สามารถหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ได้โดยตรงและคิดค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) จากการนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต โดยค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ในบทนี้ไม่นำมาคิดวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือเนื่องจากไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพิจารณา ซึ่งผู้วิจัยเก็บค่าไว้ใช้ในขั้นตอนการออกแบบราวกันตกในบทถัดไป ดังตัวอย่างในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การกระจาย

หลังจากได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ของการวัดความรู้สึกของคนงานที่ 1 ต่อราวกันตกแต่ละแบบแล้ว ทำการหาตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ของคนงานที่ 1 โดยการวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางด้วยวิธีหาค่ามัธยฐาน (Median) ดังตัวอย่างคำนวณในภาพที่ 5.1 หลังจากนั้นทำการหาค่าตัวแทนของคนงานอื่น เช่นเดียวกับวิธีหาค่าตัวแทนของคนงานที่ 1 ข้างต้น ได้ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ทั้ง 10 คน และคำนวณค่ามัธยฐานรวม 2 ปัจจัยของคนงาน 10 คนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ทำการคำนวณแบบเดียวกันทั้ง 3 เครื่องมือทดสอบ

5.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบความรู้สึก

หลังจากผ่านการทดสอบความรู้สึกของตนงานด้วยเครื่องมือ 3 แบบแล้ว นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือทดสอบโดยการหาการกระจายของข้อมูลซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการวัดความรู้สึกตามวิธีการหาค่าการกระจายในข้อ 5.1 ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ดังแสดงในตารางที่ 5.2 – ตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 1

	ความรู้สึกปลอดภัย		**ความสะดวกในการทำงาน**			
	S.D.	CV	S.D.	CV		
คนงานที่ 1	0.29	0.08	0.50	0.19		
คนงานที่ 2	1.00	0.43	1.08	0.46		
คนงานที่ 3	0.50	0.13	0.66	0.28		
คนงานที่ 4	1.00	0.40	1.00	0.40		
คนงานที่ 5	0.50	0.14	0.54	0.13		
คนงานที่ 6	0.77	0.26	0.70	0.22		
คนงานที่ 7	0.89	0.28	0.82	0.20		
คนงานที่ 8	0.70	0.25	0.58	0.16	**มัธยฐานรวมทั้ง 2 ปัจจัย**	
คนงานที่ 9	0.66	0.25	0.82	0.27		
คนงานที่ 10	0.58	0.14	0.89	0.21	S.D.	CV
มัธยฐาน 10 คน	0.68	0.25	0.76	0.22	0.70	0.23

ตารางที่ 5.3 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 2

	ความรู้สึกปลอดภัย		ความสะดวกในการทำงาน			
	S.D.	CV	S.D.	CV		
คนงานที่ 1	0.29	0.08	0.50	0.25		
คนงานที่ 2	0.70	0.32	0.70	0.31		
คนงานที่ 3	0.25	0.08	0.54	0.26		
คนงานที่ 4	0.70	0.31	0.70	0.31		
คนงานที่ 5	0.58	0.14	0.50	0.14		
คนงานที่ 6	0.96	0.32	0.54	0.23		
คนงานที่ 7	1.25	0.31	0.54	0.15		
คนงานที่ 8	0.54	0.21	0.54	0.16	**มัธยฐานรวมทั้ง 2 ปัจจัย**	
คนงานที่ 9	0.73	0.26	0.70	0.25		
คนงานที่ 10	1.34	0.38	0.66	0.21	S.D.	CV
มัธยฐาน 10 คน	0.70	0.29	0.54	0.24	0.62	0.25

ตารางที่ 5.4 ค่าตัวแทนของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของเครื่องมือทดสอบที่ 3

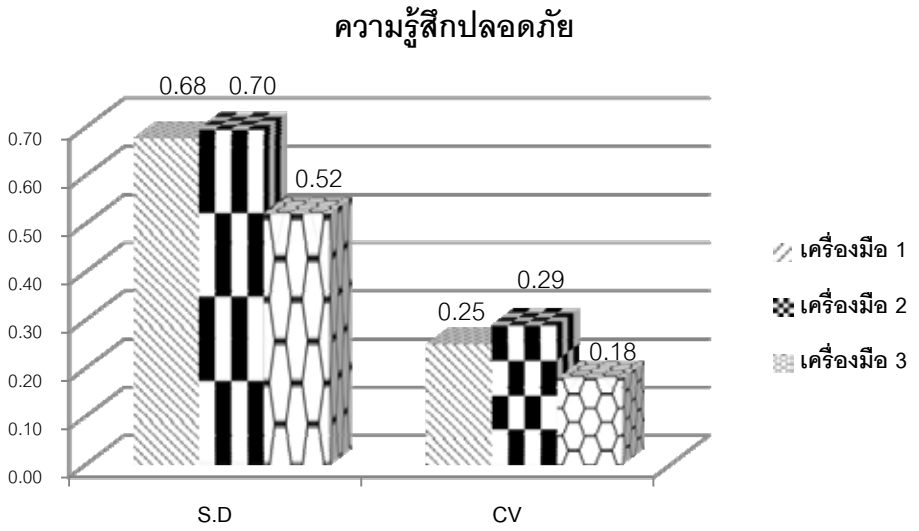
	ความรู้สึกปลอดภัย		ความสะดวกในการทำงาน			
	S.D.	CV	S.D.	CV		
คนงานที่ 1	0.25	0.06	0.50	0.15		
คนงานที่ 2	0.66	0.25	0.50	0.25		
คนงานที่ 3	0.25	0.06	0.66	0.28		
คนงานที่ 4	0.54	0.18	1.13	0.29		
คนงานที่ 5	0.50	0.14	0.00	0.00		
คนงานที่ 6	0.50	0.18	0.58	0.23		
คนงานที่ 7	0.58	0.16	0.82	0.20		
คนงานที่ 8	0.50	0.19	0.58	0.20	**มัธยฐานรวมทั้ง 2 ปัจจัย**	
คนงานที่ 9	0.77	0.29	0.50	0.18		
คนงานที่ 10	0.89	0.38	0.50	0.19	S.D.	CV
มัธยฐาน 10 คน	0.52	0.18	0.54	0.20	0.52	0.19

จากตารางที่ 5.2 – ตารางที่ 5.4 เมื่อพิจารณาแยกเฉพาะแต่ละตาราง ไม่สามารถระบุความหมายของค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าของสัมประสิทธิ์การกระจายที่คำนวณได้ แต่เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างทั้ง 3 เครื่องมือทดสอบ โดยนำผลจากตารางที่ 5.2 – ตารางที่ 5.4 มาเรียบเรียงเป็นตารางและแผนภูมิเปรียบเทียบให้เห็นชัด สามารถอธิบายถึงความแตกต่างของค่าการกระจายทั้งสองได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นหลัก เนื่องจากลักษณะของข้อมูลมีค่าอยู่ในช่วง 1-5 คะแนน ทำให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้ได้แสดงวิธีคิดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายควบคู่กันไปด้วยเพื่อเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้สำหรับข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตต่างกันมาก ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การกระจายข้อมูล

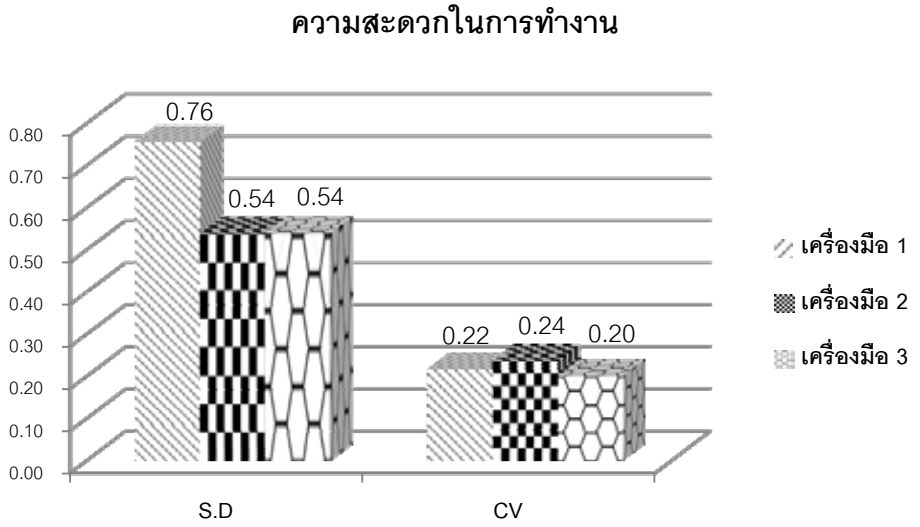
	ความรู้สึกปลอดภัย		**ความสะดวกในการทำงาน**		**รวมทั้ง 2 ปัจจัย**	
	S.D.	CV	S.D.	CV	S.D.	CV
เครื่องมือ 1	0.68	0.25	0.76	0.22	0.70	0.23
เครื่องมือ 2	0.70	0.29	0.54	0.24	0.62	0.25
เครื่องมือ 3	0.52	0.18	0.54	0.20	0.52	0.19

จากการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.5 เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านความรู้สึกปลอดภัยพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 1 หรือภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก และเครื่องมือที่ 2 หรือภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 3 หรือเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง น้อยกว่าเครื่องมือที่ 1 และเครื่องมือที่ 2 อย่างเห็นได้ชัดดังภาพที่ 5.2 นั่นหมายถึงเครื่องมือที่ 1 และเครื่องมือที่ 2 ทางคนงานหรือผู้ทดสอบความรู้สึกใช้ตรรกะความคิดพิจารณาด้านความปลอดภัยมากกว่าเครื่องมือที่ 3 ซึ่งเครื่องมือที่ 3 สามารถเข้าถึงความรู้สึกด้านความปลอดภัยมากกว่าเนื่องจากการตอบแบบสอบถามเป็นคำตอบเดิมมากกว่าเครื่องมือที่ 1 และเครื่องมือที่ 2 ที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเครื่องมือที่ 3 ในแต่ละครั้ง



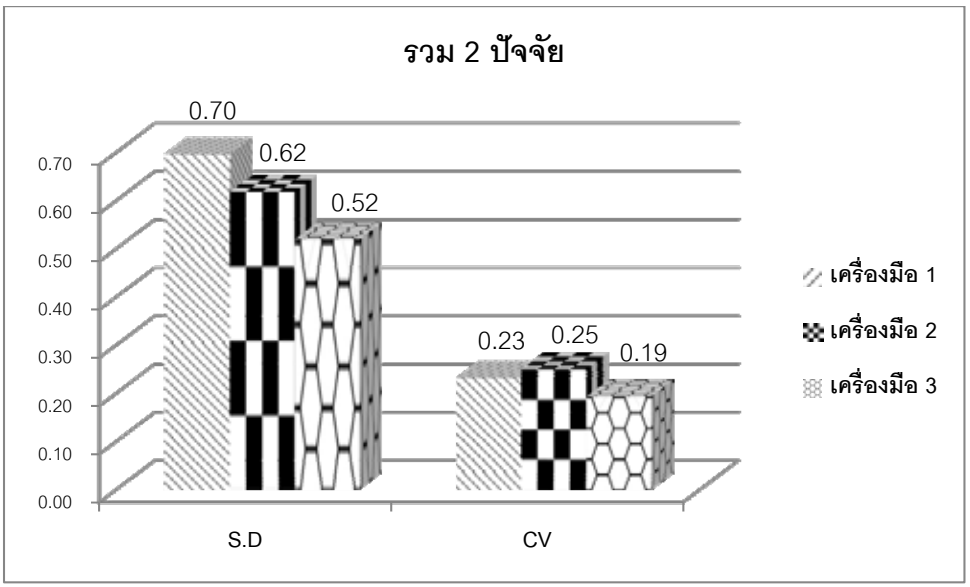
ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลด้านความรู้สึกปลอดภัย

เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านความสะดวกในการทำงานพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 1 หรือภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก มีค่าสูงกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 2 หรือภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง และเครื่องมือที่ 3 หรือเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 5.3 นั่นหมายถึงเครื่องมือที่ 1 ทางคนงานหรือผู้ทดสอบความรู้สึกใช้ตรรกะความคิดพิจารณาด้านความสะดวกในการทำงานมากกว่าเครื่องมือที่ 2 และเครื่องมือที่ 3 ซึ่งสามารถเข้าถึงความรู้สึกด้านความสะดวกในการทำงานมากกว่าเนื่องจากการตอบแบบสอบถามเป็นคำตอบเดิมมากกว่าเครื่องมือที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าเครื่องมือที่ 2 และเครื่องมือที่ 3 ในแต่ละครั้ง



ภาพที่ 5.3 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลด้านความสะดวกในการทำงาน

เมื่อพิจารณารวมทั้งด้านความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงานพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 1 หรือภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตกมีค่าสูงกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องมือที่ 2 หรือภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง และเครื่องมือที่ 3 หรือเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ดังภาพที่ 5.4 นั่นหมายถึงเครื่องมือที่ 1 ทางคนงานหรือผู้ทดสอบความรู้สึกใช้ตรรกะความคิดพิจารณาด้านความสะดวกในการทำงานมากกว่าเครื่องมือที่ 2 และเครื่องมือที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ 3 มีสามารถเข้าถึงความรู้สึกด้านความสะดวกในการทำงานมากที่สุดเนื่องจากการตอบแบบสอบถามเป็นคำตอบเดิมมากกว่าเครื่องมือที่ 1 และเครื่องมือที่ 2 ที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าในแต่ละครั้ง



ภาพที่ 5.4 การเปรียบเทียบการกระจายข้อมูลรวมทั้ง 2 ปัจจัย

จากการเปรียบเทียบทั้ง 3 แบบข้างต้นเห็นว่าเครื่องมือที่ 3 หรือเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าเครื่องมืออื่นเสมอ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงสามารถเข้าถึงความรู้สึกในแต่ละด้านได้ดีกว่าเครื่องมืออื่น ซึ่งหมายถึงเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างมากที่สุด ดังนั้นข้อมูลจากการวัดความรู้สึกด้วยเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์รูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างอาคารสูง

5.3 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้แสดงถึงการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือจากการทดสอบความรู้สึกทางด้านความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน ซึ่งมีการทดสอบ 3 แบบคือ แบบทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก, แบบทดสอบโดยใช้ภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับคน และแบบทดสอบโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เมื่อพิจารณาผลของการกระจายข้อมูลในแต่ละแบบทดสอบ พบว่า แบบทดสอบโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ

เครื่องมืออื่น แสดงให้เห็นว่าจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนี้สามารถเข้าถึงความรู้สึกของคนงานได้ดีกว่าเครื่องมืออื่น ซึ่งหมายถึงมีความสามารถในการวัดความรู้สึกต่อราวกันตกมากที่สุด

บทที่ 6

กรณีศึกษาการออกแบบระบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง โดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน

การออกแบบเครื่องมือป้องกันการตกในการก่อสร้างอาคารสูง โดยพิจารณาถึงความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง กรณีศึกษาในการวิจัยนี้ ใช้เครื่องมือที่ใช้ป้องกันการตก คือ ราวกันตก หลังจากการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยเครื่องมือทดสอบ 3 เครื่องมือทดสอบ ในบทนี้ได้นำผลการทดสอบของเครื่องมือทดสอบที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากที่สุด นั่นคือ เครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจากการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือวัดความรู้สึกในบทที่ 5 สำหรับวิเคราะห์รูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP)

6.1 กำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบ

โครงสร้างพื้นฐานตามกระบวนการของ AHP ในการวิจัยนี้สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ ได้แก่ เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ องค์ประกอบการพิจารณา และทางเลือกในการตัดสินใจ ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละระดับชั้น ดังนี้

6.1.1 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ การเลือกรูปแบบเครื่องมือป้องกันการตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงที่เหมาะสมที่สุดโดยคำนึงถึงความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง กรณีศึกษาของเครื่องมือป้องกันการตกในการวิจัยนี้คือ ราวกันตก

6.1.2 องค์ประกอบในการพิจารณา

จากการศึกษาและสัมภาษณ์จากผู้ที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับองค์ประกอบหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกรูปแบบของราวกันตก มีองค์ประกอบอยู่หลายอย่างที่ต้องใช้ในการพิจารณา ดังนี้

1) ต้นทุน เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่มีผลต่อราคาทั้งโครงการ โดยส่วนใหญ่ ค่าดำเนินการเกี่ยวกับความปลอดภัยในโครงการทั้งหมดมีค่าประมาณ 30 - 40 % ซึ่งผู้รับเหมามักปรับลดต้นทุนทางด้านความปลอดภัยลง เพื่อที่ได้ชนะการประมูลและเข้าดำเนินการก่อสร้าง

2) ความปลอดภัย เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ผู้มีประสบการณ์ทางด้านความปลอดภัยต่างลงความเห็นว่าควรมาเป็นอันดับแรก อีกทั้งถ้าเกิดอุบัติเหตุ อาจส่งผลกระทบต่องานทำให้งานล่าช้าลง

3) ความสะดวกในการทำงาน เป็นสิ่งที่เลี่ยงไม่ได้ ซึ่งถ้ามีการป้องกันทางด้านความปลอดภัยมากเกินไป อาจทำงานไม่ได้ในบางพื้นที่ ซึ่งควรปรับลดการป้องกันให้เพียงพอต่องานทั้งด้านความปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน

4) วัสดุและความแข็งแรงของราวกันตก ขึ้นอยู่กับความละเอียดของการติดตั้งต้องเพียงพอต่อการป้องกันการตก ไม่พังหรือชำรุดเสียหายง่าย และราคาไม่แพงจนเกินไป

5) ลักษณะการติดตั้งราวกันตก ถ้ามีวิธีการติดตั้งที่ลำบากหรือมีความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ ผู้รับผิดชอบงานทางด้านความปลอดภัยจะเลี่ยงวิธีการติดตั้งนั้น ไปใช้วิธีอื่นหรือติดตั้งตรงจุดอื่น

6) พื้นที่หรือลักษณะการทำงาน ในแต่ละพื้นที่ใช้รูปแบบราวกันตกไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ทำในพื้นที่นั้น

โดยในการวิจัยนี้ ให้สมมติฐานว่าใช้วัสดุ การติดตั้ง และพื้นที่ทำงานเหมือนกันสำหรับรูปแบบราวกันตกต่างๆ เนื่องจากข้อจำกัดบางประการของเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ใช้ในการวิจัยนี้ เน้นไปทางด้านการมองเห็นเท่านั้น ดังนั้นปัจจัยหรือองค์ประกอบที่นำมาพิจารณาในการวิจัยนี้มี 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- ต้นทุนของราวกันตก ซึ่งพิจารณาต้นทุนเป็นหน่วยบาทต่อ 2 เมตร ดังแสดงในภาคผนวก ฉ
- ความรู้สึกปลอดภัยของคนงาน ซึ่งเป็นความรู้สึกของคนงานโดยตรงในขณะที่ทำงาน ส่งผลต่อความสามารถในการทำงาน โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบการวัดความรู้สึกเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

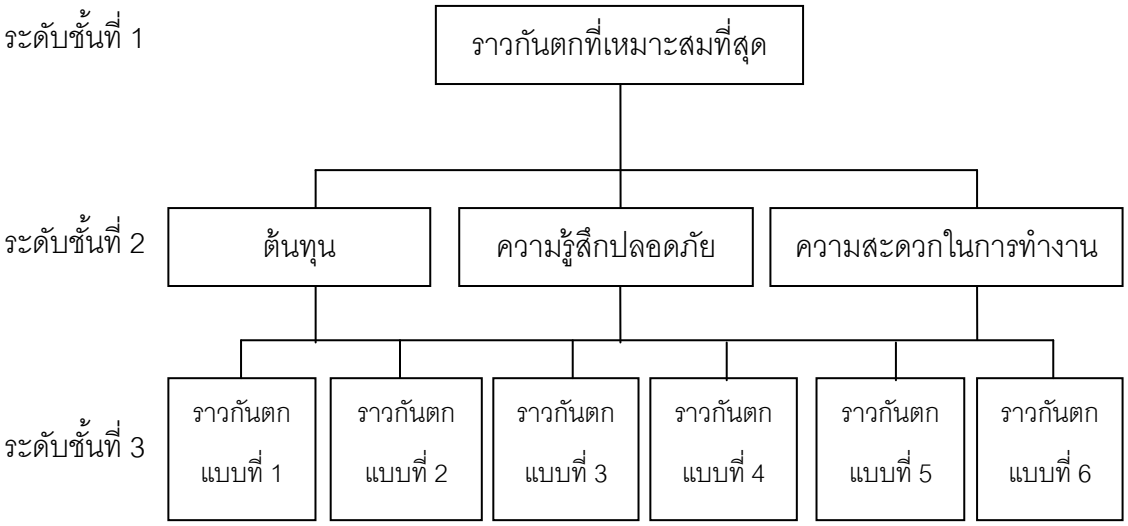
- ความสะดวกสบายในการทำงานของคนงาน ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงาน โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบการวัดความรู้สึกเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

6.1.3 **ทางเลือกในการตัดสินใจ**

ในการวิจัยนี้ ทางเลือกในการตัดสินใจออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง คือ รูปแบบราวกันตกตามการพิจารณาในบทที่ 4 มีราวกันตก 6 แบบ ได้แก่

- ราวกันตกแบบที่ 1 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 90 ซม.
- ราวกันตกแบบที่ 2 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 120 ซม.
- ราวกันตกแบบที่ 3 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.
- ราวกันตกแบบที่ 4 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.
- ราวกันตกแบบที่ 5 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.
- ราวกันตกแบบที่ 6 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.

หลังจากกำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบตามกระบวนการคิดแบบ AHP สำหรับการออกแบบระบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง สามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ ดังนี้



ภาพที่ 6.1 แผนภาพสำหรับการเลือกรูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

6.2 กำหนดความสำคัญในแต่ละระดับชั้น

ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบราวกันตกที่เหมาะสม ต้องทำการประเมินความสำคัญในแต่ละระดับชั้นด้วยวิธีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์กัน ในเรื่องของความสำคัญ หรือความรู้สึก จากภาพที่ 6.1 ในระดับชั้นที่ 2 ทำการประเมินความสำคัญโดยผู้ประเมินที่มีประสบการณ์บทบาท หรือหน้าที่การทำงานเกี่ยวข้องกับการจัดการความปลอดภัย และระดับชั้นที่ 2 ทำการประเมินความสำคัญโดยผลจากการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และการคำนวณต้นทุนราวกันตกในภาคผนวก ฉ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการประเมินความสำคัญ ดังนี้

6.2.1 วิธีการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญ

สำหรับในระดับชั้นที่ 2 ว่าด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราวกันตก 3 ปัจจัยคือ ต้นทุน ความรู้สึกปลอดภัย และความสะดวกในการทำงาน การให้คะแนนระดับความสำคัญเปรียบเทียบกันเป็นคู่ในแต่ละปัจจัย ให้ผู้ที่มีประสบการณ์ด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคารสูงจำนวน 6 คน เป็นผู้วินิจฉัย ซึ่งผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ของผู้ประเมินคนที่ 1 แสดงได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางการเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1

มากกว่า ◄——— เท่ากัน ———► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย				/														ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย	/																	ต้นทุน
ความสะดวก				/														ต้นทุน

จากตารางที่ 6.1 สามารถตีความได้ ดังเช่น คู่เปรียบเทียบระหว่างความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวก ผู้ประเมินให้ 6 ทางด้านความรู้สึกปลอดภัยมากกว่า นั่นหมายถึง

$$\frac{\text{ปลอดภัย}}{\text{สะดวก}} = \frac{6}{1} = 6$$

เมื่อได้ตัวเลขจากการวินิจฉัยของผู้ประเมินดังตารางที่ 6.1 ขั้นต่อไปคือ นำผลการวินิจฉัยนั้นมาใส่เป็นตารางเมตริกซ์ แล้วหาผลรวมในแถวตั้งของแต่ละแถวของตารางเมตริกซ์ดังตารางที่ 6.2 หลังจากนั้นนำเอาตัวเลขแต่ละช่องของแถวตั้งแต่ละแถว หารด้วยผลรวมของตัวเลขในแถวตั้งนั้น และหาค่าเฉลี่ยของตัวเลขในแถวนอนแต่ละแถว โดยนำผลรวมตัวเลขในแถวแนวนอน หารด้วยจำนวนตัวเลขที่มีอยู่ในแต่ละแถวแนวนอนนั้น ซึ่งได้ค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.2 ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบ 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1 และผลรวมแนวตั้ง

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก
ต้นทุน	1	1/9	1/6
ความรู้สึกปลอดภัย	9	1	6
ความสะดวก	6	1/6	1
ผลรวมทุกปัจจัย(แถวตั้ง)	**16**	**23/18**	**43/6**

ตารางที่ 6.3 ตารางเมตริกซ์แสดงค่าเฉลี่ย ผลรวมแถวนอน และลำดับความสำคัญของผู้ประเมินคนที่ 1

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก	ผลรวมทุกปัจจัย (แถวนอน)	ลำดับความสำคัญรวม
ต้นทุน	1/16	2/23	1/43	0.17	0.06
ความรู้สึกปลอดภัย	9/16	18/23	36/43	2.18	0.73
ความสะดวก	6/16	3/23	6/43	0.64	0.21

หลังจากนั้นคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผลว่าผู้ประเมินคนที่ 1 มีความสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ โดยเริ่มจากนำเอาผลรวมของลำดับความสำคัญโดยรวมมาคูณกับค่าของการวินิจฉัยในตารางเมตริกซ์แล้วหาผลรวมในแถนอนแต่ละแถว ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ตารางแสดงการหาผลรวมเพื่อหาความสอดคล้องกันของเหตุผลของผู้ประเมินคนที่ 1

ปัจจัย	ต้นทุน (0.06)	ความรู้สึกปลอดภัย (0.73)	ความสะดวก (0.21)	ผลรวมทุกปัจจัย
ต้นทุน	1 x 0.06	1/9 x 0.73	1/6 x 0.21	0.17
ความรู้สึกปลอดภัย	9 x 0.06	1 x 0.73	6 x 0.21	2.54
ความสะดวก	6 x 0.06	1/6 x 0.73	1 x 0.21	0.68

เมื่อได้ผลรวมในแถวนอนแต่ละแถว นำผลรวมนั้นตั้งแล้วหารด้วยลำดับความสำคัญโดยรวม

$$0.17 \;/\; 0.06 = 3.03$$
$$2.54 \;/\; 0.73 = 3.49$$
$$0.68 \;/\; 0.21 = 3.17$$

นำผลลัพธ์ที่ได้มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนปัจจัยในที่นี้คือ 3

$$\frac{3.03+3.49+3.17}{3} = 3.23$$ โดยประมาณ

ตัวเลข 3.23 นี้คือ λ_{max} ซึ่งนำมาคำนวณดัชนีความสอดคล้องหรือค่า CI ได้ดังนี้

$$CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} = \frac{3.23-3}{3-1} = 0.114$$

โดย n = จำนวนปัจจัย

หลังจากนั้นหาอัตราส่วนความสอดคล้อง CR โดยเทียบใช้ค่า RI ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างของตารางเมตริกซ์ดังตารางที่ 3.3 ในกรณีนี้ตารางเมตริกซ์มี 3 ปัจจัย ดังนั้นค่า RI = 0.58 ซึ่งสามารถสรุปลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากการคำนวณตามตารางที่ 6.3 และค่า CR ของผู้ประเมินทั้ง 6 คนได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยของผู้ประเมินทั้ง 6 คน

	คนที่ 1	**คนที่ 2**	**คนที่ 3**	**คนที่ 4**	**คนที่ 5**	**คนที่ 6**
ต้นทุน	0.06	0.31	0.10	0.10	0.07	0.06
ความปลอดภัย	0.73	0.51	0.69	0.28	0.67	0.72
ความสะดวก	0.21	0.18	0.21	0.62	0.26	0.22
CR	0.196	0.326	0.120	0.075	0.266	0.539

พบว่าค่า CR ของแต่ละคนมีค่าเกิน 0.05 ซึ่งสูงกว่าเพดานที่กำหนดไว้คือ 5% สำหรับ 3 ปัจจัย (9% สำหรับ 4 ปัจจัย และ 10% สำหรับ 5 ปัจจัยขึ้นไป) ดังนั้นค่าลำดับความสำคัญที่ได้ดังตารางที่ 6.5 ยังนำมาใช้ไม่ได้ ต้องทำการปรับแก้ความสอดคล้องเสียใหม่โดยปรับแก้ค่าตารางเมตริกซ์จากตารางที่ 6.2 ดังแสดงในภาคผนวก ง ซึ่งมีวิธีปรับแก้ดังนี้

จากการตอบแบบสอบถามของผู้ประเมิน ผู้ประเมินมักเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยและปัจจัยความสะดวกก่อน ตามด้วยเปรียบเทียบระหว่าง 2 ปัจจัยข้างต้นกับต้นทุน โดยผู้ประเมินพยายามให้สอดคล้องกับความสำคัญระหว่างปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยและปัจจัยความสะดวก ทางผู้วิจัยจึงมีวิธีการปรับแก้โดยใช้ตามทฤษฎีเมตริกซ์สอดคล้อง (Consistency Matrix) ดังสมการที่ (1) ในบทที่ 3 ดังนี้

1) พิจารณาปัจจัยที่มีความสำคัญมากกว่าจากคู่เปรียบเทียบปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยและปัจจัยความสะดวก
2) ปัจจัยที่มีความสำคัญมากกว่าจากข้อ 1 เป็นตัวตั้งเปรียบเทียบกับปัจจัยต้นทุน โดยคงค่าเปรียบเทียบเดิมไว้
3) ทำการปรับแก้คู่เปรียบเทียบระหว่างปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยจากข้อ 1 กับปัจจัยต้นทุน โดยมีวิธีคำนวณดังนี้

$$\frac{F2}{F1} \times \frac{F1}{F3} = \frac{F2}{F3}$$

โดย F1 = ปัจจัยที่มีความสำคัญมากกว่าระหว่างปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยและปัจจัยความสะดวก

F2 = ปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าระหว่างปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยและปัจจัยความสะดวก

F3 = ปัจจัยต้นทุน

เมื่อแทนค่าในสมการข้างต้นด้วยผลจากการประเมินของผู้ประเมินคนที่ 1 ได้ค่าเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยใหม่ ดังนี้

$$\frac{\text{สะดวก}}{\text{ปลอดภัย}} \times \frac{\text{ปลอดภัย}}{\text{ต้นทุน}} = \frac{1}{6} \times 9 = \frac{3}{2} \rightarrow \frac{\text{สะดวก}}{\text{ต้นทุน}}$$

ซึ่งหมายถึงความสำคัญของปัจจัยความสะดวกต่อปัจจัยต้นทุน มีความสำคัญเป็น 3 ต่อ 2

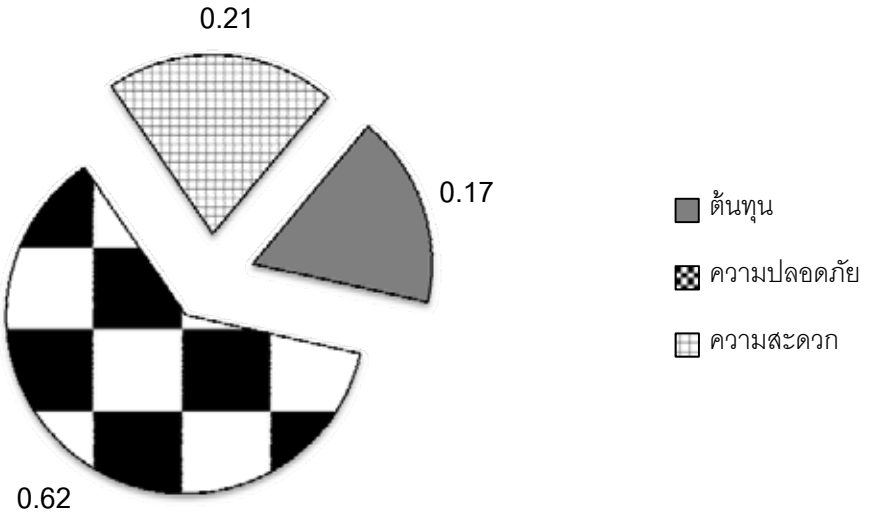
6.2.2 ผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัจจัยสำหรับออกแบบราวกันตก

หลังจากการปรับแก้ดังภาคผนวก ง ให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันของเหตุผล (CR เป็น 0) และได้ค่าลำดับความสำคัญใหม่ของผู้ประเมินทั้ง 6 คน ได้ลำดับความสำคัญรวมเฉลี่ยดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ลำดับความสำคัญใหม่ของแต่ละปัจจัยของผู้ประเมินทั้ง 6 คน และลำดับความสำคัญเฉลี่ย

	คนที่ 1	**คนที่** 2	**คนที่** 3	**คนที่** 4	**คนที่** 5	**คนที่** 6	**เฉลี่ย**
ต้นทุน	0.09	0.46	0.14	0.13	0.11	0.11	**0.17**
ความปลอดภัย	0.78	0.46	0.72	0.22	0.74	0.80	**0.62**
ความสะดวก	0.13	0.08	0.14	0.65	0.15	0.09	**0.21**

ซึ่งค่าลำดับความสำคัญรวมเฉลี่ยนี้ สามารถนำมาใช้เป็นค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในการพิจารณาออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง สรุปได้ดังภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 ค่าน้ำหนักปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบราวกันตกในการก่อสร้างอาคารสูง

สำหรับในระดับชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นทางเลือกในการตัดสินใจ ในการวิจัยนี้คือรูปแบบราวกันตกทั้ง 6 แบบ ซึ่งสามารถให้น้ำหนักความสำคัญจำแนกตามปัจจัยได้คือ ต้นทุนจากการคำนวณในภาคผนวก ฉ คะแนนความรู้สึกปลอดภัยจากเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง และคะแนนความสะดวกในการทำงานจากเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ซึ่งวิธีการคิดน้ำหนักแต่ละปัจจัยมีดังนี้

- ปัจจัยด้านต้นทุน ถ้าต้นทุนมีค่าน้อยจะดี ดังนั้นการคิดลำดับความสำคัญเป็นส่วนกลับ ของราคาต้นทุนที่คำนวณได้
- ปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัย ถ้าค่า $\bar{X}$ มาก แสดงว่ารู้สึกดีกับราวกันตกนั้น ดังนั้นการคิดลำดับความสำคัญแปรผันตามค่า $\bar{X}$ ที่ได้จากการทดสอบ
- ปัจจัยด้านความสะดวกในการทำงาน ถ้าค่า $\bar{X}$ มาก แสดงว่าทำงานสะดวกดีกับราวกันตกนั้น ดังนั้นการคิดลำดับความสำคัญแปรผันตามค่า $\bar{X}$ ที่ได้จากการทดสอบ

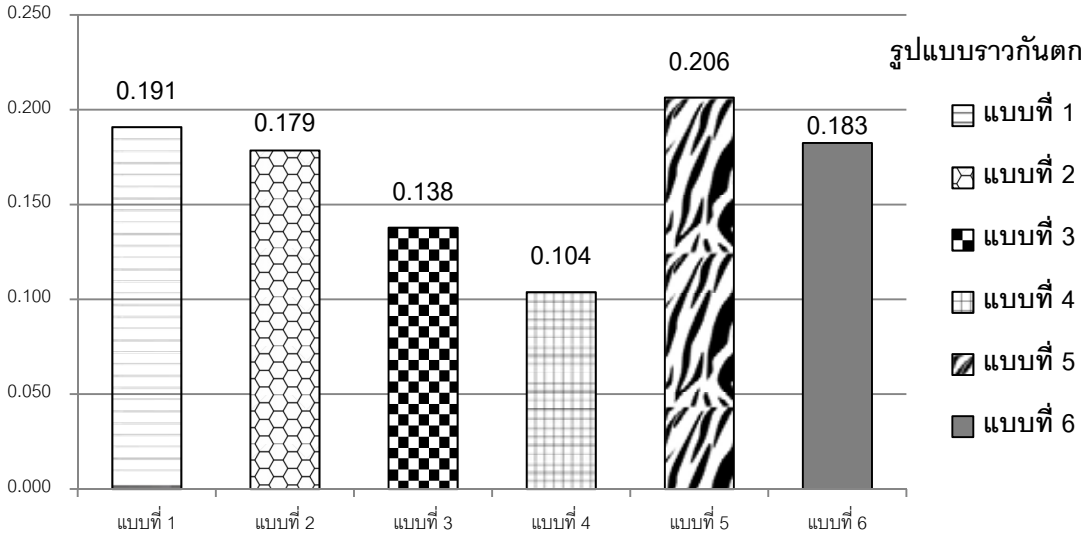
จากการคำนวณต้นทุน และผลการทดสอบความรู้สึกด้วยเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงของราวกันตก 6 แบบแบ่งตามปัจจัยต้นทุน ปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยความสะดวกในการทำงาน สามารถนำมาคำนวณค่าลำดับความสำคัญได้ดังนี้

1) ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยต้นทุน

การคำนวณลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยต้นทุน มีค่าลำดับความสำคัญเพียงชุดเดียว เนื่องจากการทดสอบคนงาน 10 คนใช้รูปแบบราวกันตกชุดเดียวกันทั้งหมด โดยเปรียบเทียบราวกันตกทั้ง 6 แบบ เป็นคู่โดยทำเป็นตารางเมตริกซ์ดังแบบตารางที่ 6.2 และตารางที่ 6.3 ได้ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกแบบที่ 5 ในปัจจัยด้านต้นทุนสูงสุด ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบราวกันตกทั้ง 6 แบบภายใต้ปัจจัยด้านต้นทุน

ราวกันตก	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	ลำดับความสำคัญ
แบบที่ 1	1	552.7/517	716/517	950.7/517	478/517	540.7/517	0.191
แบบที่ 2	517/552.7	1	716/552.7	950.7/552.7	478/552.7	540.7/552.7	0.179
แบบที่ 3	517/716	552.7/716	1	950.7/716	478/716	540.7/716	0.138
แบบที่ 4	517/950.7	552.7/950.7	716/950.7	1	478/950.7	540.7/950.7	0.104
แบบที่ 5	517/478	552.7/478	716/478	950.7/478	1	540.7/478	0.206
แบบที่ 6	517/540.7	552.7/540.7	716/540.7	950.7/540.7	478/540.7	1	0.183



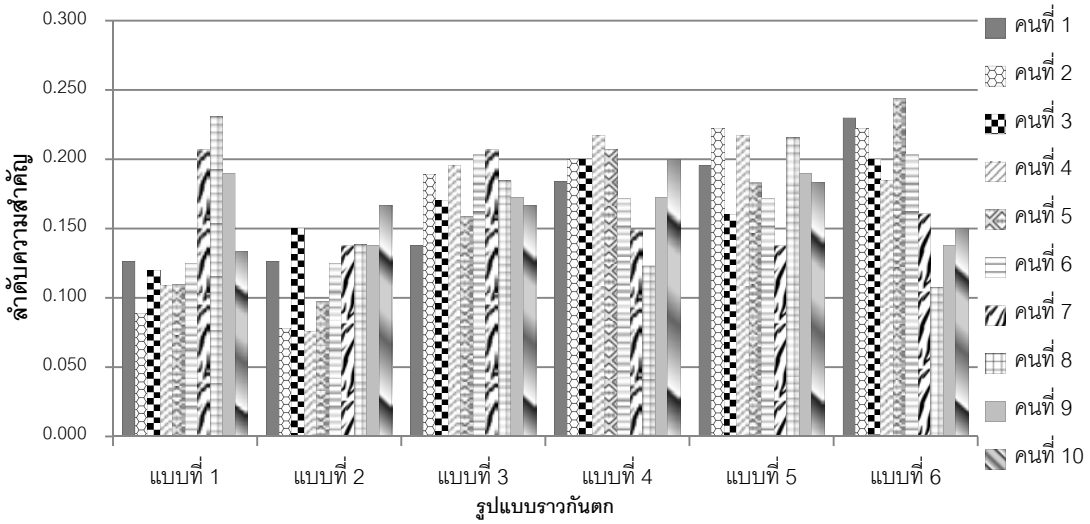
ภาพที่ 6.3 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยต้นทุน

2) ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย

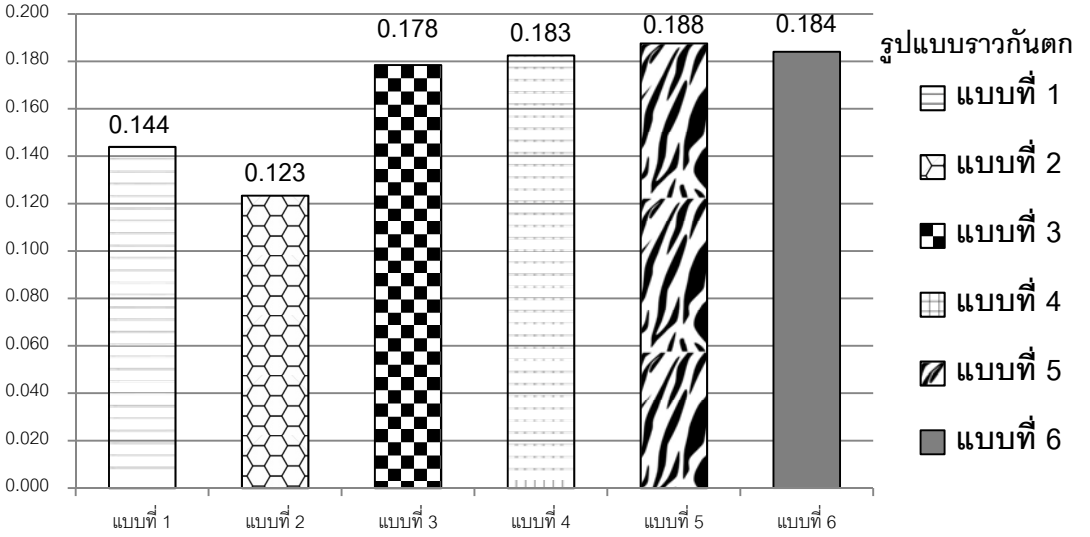
การคำนวณลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย คำนวณเปรียบเทียบเป็นคู่ซึ่งใช้วิธีเดียวกันกับการคำนวณต้นทุน โดยคำนวณแยกเป็นรายบุคคลทั้ง 10 คน ได้ค่าลำดับความสำคัญรวมของราวกันตกแบบที่ 5 ในปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยสูงสุด ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย

	ผู้ทดสอบความรู้สึก										
ราวกันตก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**เฉลี่ย**
แบบที่ 1	0.126	0.089	0.120	0.109	0.110	0.125	0.207	0.231	0.190	0.133	0.144
แบบที่ 2	0.126	0.078	0.150	0.076	0.098	0.125	0.138	0.138	0.138	0.167	0.123
แบบที่ 3	0.138	0.189	0.170	0.196	0.159	0.203	0.207	0.185	0.172	0.167	0.178
แบบที่ 4	0.184	0.200	0.200	0.217	0.207	0.172	0.149	0.123	0.172	0.200	0.183
แบบที่ 5	0.195	0.222	0.160	0.217	0.183	0.172	0.138	0.215	0.190	0.183	0.188
แบบที่ 6	0.230	0.222	0.200	0.185	0.244	0.203	0.161	0.108	0.138	0.150	0.184
ลำดับความสำคัญ	**รูปแบบราวกันตก**										
อันดับ 1	6	5,6	4,6	4,5	6	3,6	1,3	1	1,5	4	5
อันดับ 2	5	4	3	3	4	4,5	6	5	3.4	5	6
อันดับ 3	4	3	5	6	5	1,2	4	3	2,6	2,3	4



ภาพที่ 6.4 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย



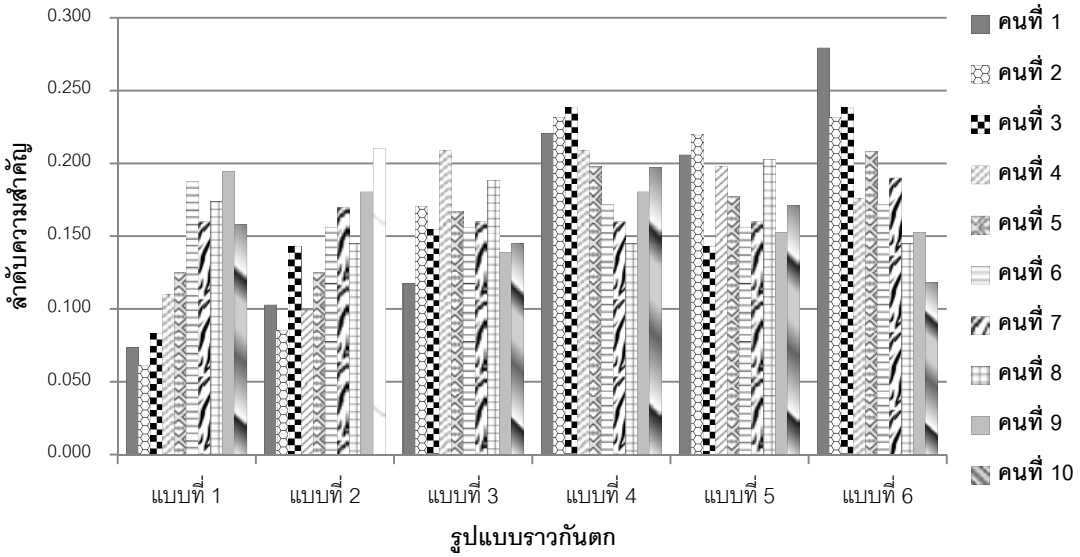
ภาพที่ 6.5 ค่าลำดับความสำคัญเฉลี่ยของราวกันตกด้านปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย

3) ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน

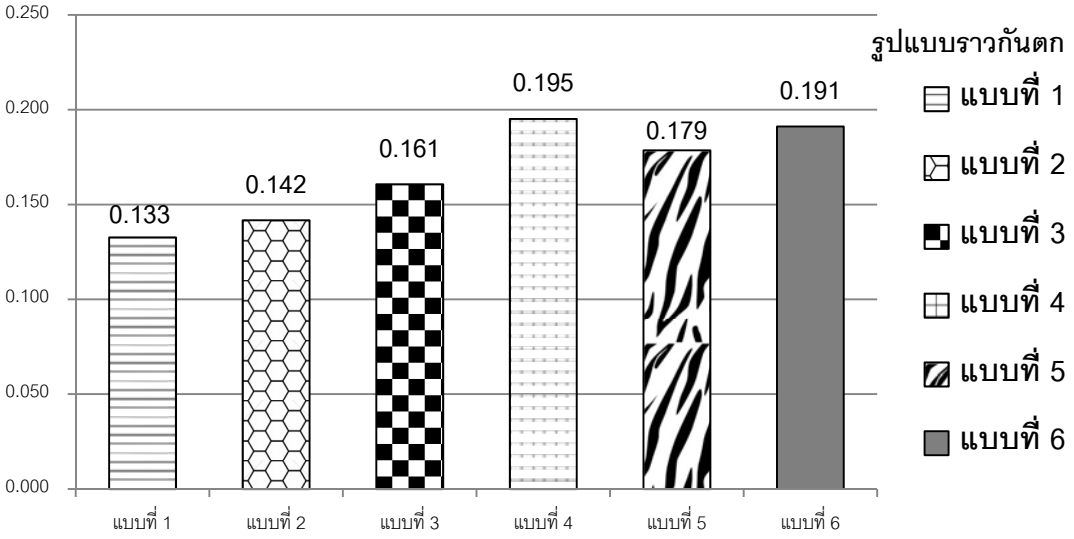
การคำนวณลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน คำนวณเปรียบเทียบเป็นคู่ซึ่งใช้วิธีเดียวกันกับการคำนวณต้นทุน โดยคำนวณแยกเป็นรายบุคคลทั้ง 10 คนได้ค่าลำดับความสำคัญรวมของราวกันตกแบบที่ 5 ในปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยสูงสุด ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน

	ผู้ทดสอบความรู้สึก										
ราวกันตก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**เฉลี่ย**
แบบที่ 1	0.074	0.061	0.083	0.110	0.125	0.188	0.160	0.174	0.194	0.158	0.133
แบบที่ 2	0.103	0.085	0.143	0.099	0.125	0.156	0.170	0.145	0.181	0.211	0.142
แบบที่ 3	0.118	0.171	0.155	0.209	0.167	0.156	0.160	0.188	0.139	0.145	0.161
แบบที่ 4	0.221	0.232	0.238	0.209	0.198	0.172	0.160	0.145	0.181	0.197	0.195
แบบที่ 5	0.206	0.220	0.143	0.198	0.177	0.156	0.160	0.203	0.153	0.171	0.179
แบบที่ 6	0.279	0.232	0.238	0.176	0.208	0.172	0.190	0.145	0.153	0.118	0.191
ลำดับ ความสำคัญ	**รูปแบบราวกันตก**										
อันดับ 1	6	4,6	4,6	3,4	6	1	6	5	1	2	4
อันดับ 2	4	5	3	5	4	4,6	2	3	2,4	4	6
อันดับ 3	5	3	2,5	6	5	2,3,5	1,3,4,5	1	5,6	5	5



ภาพที่ 6.6 ค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน

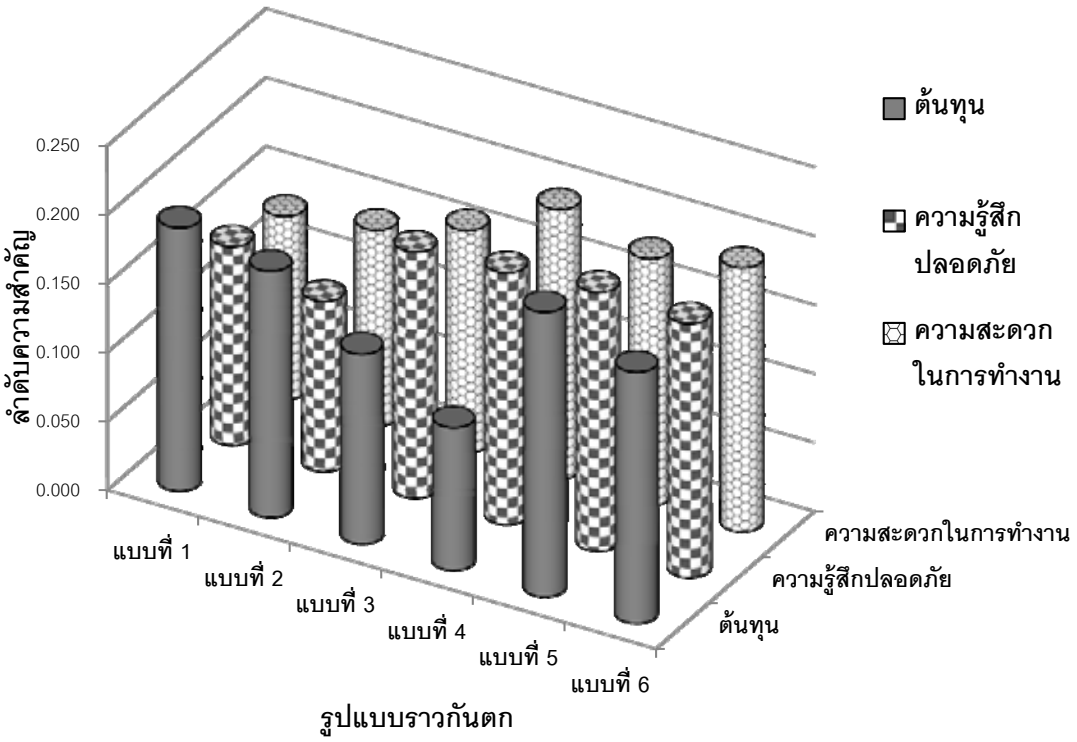


ภาพที่ 6.7 ค่าลำดับความสำคัญเฉลี่ยของราวกันตกด้านปัจจัยความสะดวกในการทำงาน

หลังจากหาค่าลำดับความสำคัญของราวกันตกจำแนกตามปัจจัยด้านต้นทุน ปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยด้านความสะดวกในการทำงานแล้ว สามารถเขียนสรุปลำดับความสำคัญโดยรวมได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 ลำดับความสำคัญจำแนกตามปัจจัยของราวกันตกทั้ง 6 แบบ

	ต้นทุน	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวกในการทำงาน**
ราวกันตกแบบที่ 1	0.191	0.144	0.133
ราวกันตกแบบที่ 2	0.179	0.123	0.142
ราวกันตกแบบที่ 3	0.138	0.178	0.161
ราวกันตกแบบที่ 4	0.104	0.183	0.195
ราวกันตกแบบที่ 5	0.206	0.188	0.179
ราวกันตกแบบที่ 6	0.183	0.184	0.191



ภาพที่ 6.8 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของราวกันตกจำแนกตามปัจจัย 3 ปัจจัย

จากภาพที่ 6.8 เมื่อพิจารณาจากลำดับความสำคัญโดยรวม สามารถอธิบายถึงข้อดีข้อเสียของราวกันตกในแต่ละแบบตามปัจจัยด้านต้นทุน ปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยด้านความสะดวกสบายได้ดังนี้

1) ราวกันตกแบบที่ 1 หรือ ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 90 ซม. มีข้อดีด้านต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียด้านความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน
2) ราวกันตกแบบที่ 2 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 120 ซม. มีข้อดีด้านต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียทางด้านความรู้สึกปลอดภัยต่ำ
3) ราวกันตกแบบที่ 3 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม. มีข้อดีทางด้านความรู้สึกปลอดภัย แต่ต้นทุนค่อนข้างสูง

4) ราวกันตกแบบที่ 4 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม. มีข้อดีทางด้านความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน แต่มีข้อเสียทางด้านต้นทุนสูง
5) ราวกันตกแบบที่ 5 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม. มีข้อดีในทุกด้าน และมีต้นทุนต่ำที่สุด
6) ราวกันตกแบบที่ 6 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.มีข้อดีในทุกด้าน แต่ดีกว่าราวแบบที่ 5 ด้านความรู้สึกปลอดภัยและความสะดวกในการทำงาน และมีต้นทุนต่ำ

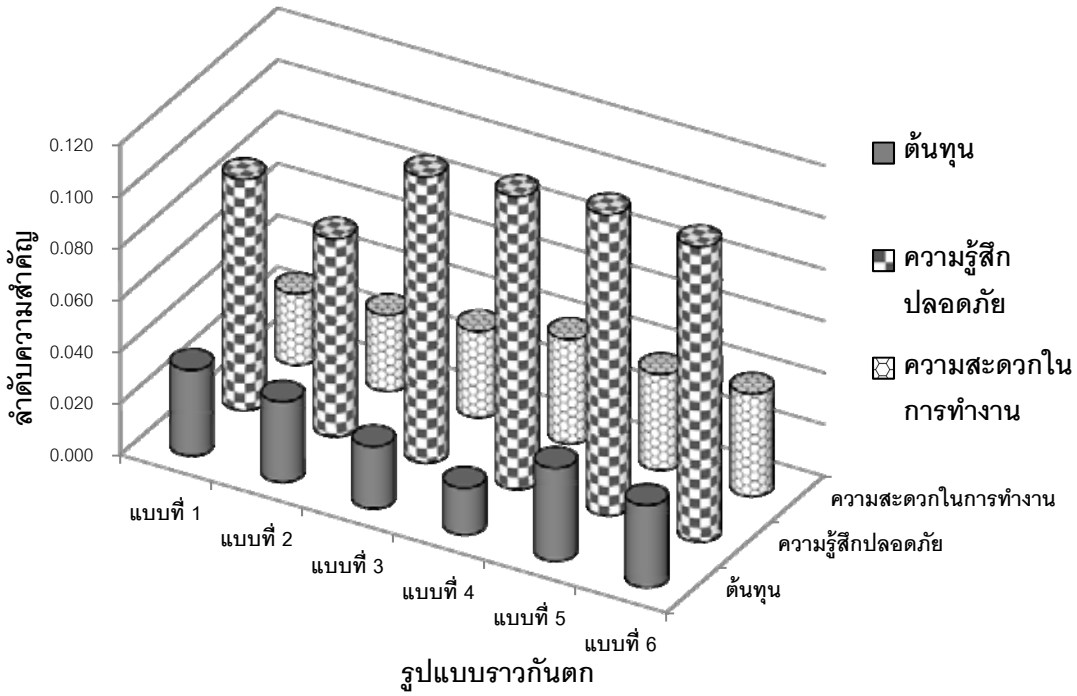
6.3 การสังเคราะห์ผลการตัดสินใจ

เมื่อได้ผลการคำนวณลำดับความสำคัญของแต่ละลำดับชั้นแล้ว ในขั้นตอนนี้คือการคำนวณลำดับความสำคัญทั้งหมดในแต่ละทางเลือกที่สนองตอบวัตถุประสงค์ ภายใต้องค์ประกอบการตัดสินใจ โดยนำลำดับความสำคัญของราวกันตกทั้ง 6 แบบ จำแนกตามปัจจัยจากตารางที่ 6.10 มาคูณกับค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากตารางที่ 6.6 ซึ่งทางเลือกที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ลำดับความสำคัญรวมของการตัดสินใจเลือกรูปแบบราวกันตกทั้ง 6 แบบ

	ต้นทุน (0.174)	**ความรู้สึกปลอดภัย (0.620)**	**ความสะดวกในการทำงาน (0.207)**	**ลำดับความสำคัญรวม**
ราวกันตกแบบที่ 1	0.191(0.174)	0.144(0.620)	0.133(0.207)	0.150
ราวกันตกแบบที่ 2	0.179(0.174)	0.123(0.620)	0.142(0.207)	0.137
ราวกันตกแบบที่ 3	0.138(0.174)	0.178(0.620)	0.161(0.207)	0.168
ราวกันตกแบบที่ 4	0.104(0.174)	0.183(0.620)	0.195(0.207)	0.171
ราวกันตกแบบที่ 5	0.206(0.174)	0.188(0.620)	0.179(0.207)	0.189
ราวกันตกแบบที่ 6	0.183(0.174)	0.184(0.620)	0.191(0.207)	0.185

จากผลการคำนวณลำดับความสำคัญระหว่างองค์ประกอบการตัดสินใจกับทางเลือกในการตัดสินใจ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกราวกันตกมากที่สุด คือปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัย ซึ่งถ้าราวกันตกที่มีค่าลำดับความสำคัญในส่วนของปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยมากกว่าราวกันตกอื่นอย่างชัดเจน ราวกันตกนั้นย่อมมีโอกาสที่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า ซึ่งถ้าค่าลำดับความสำคัญในส่วนของปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยนี้มีค่าใกล้เคียงกัน ต้องพิจารณาปัจจัยอีก 2 ด้านที่เหลือ จนได้ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการทำราวกันตก ดังภาพที่ 6.9 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากผู้ประเมินความสำคัญระหว่างปัจจัย 3 ปัจจัย ต่างให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านความรู้สึกปลอดภัยมากกว่าปัจจัยด้านอื่นอย่างชัดเจน



ภาพที่ 6.9 ลำดับความสำคัญของราวกันตกจำแนกตามปัจจัย เมื่อคูณกับค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย

เมื่อพิจารณาราวกันตกทั้ง 6 แบบแยกตามปัจจัยต้นทุน ปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยความสะดวกในการทำงาน สรุปได้ดังนี้

1) ปัจจัยต้นทุน

รูปแบบราวกันตกที่มีลำดับความสำคัญของปัจจัยต้นทุนมากที่สุดหรือราคาต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด คือ ราวกันตกแบบที่ 5 หรือราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม. ซึ่งมีราคาต้นทุนใกล้เคียงกับราวกันตกแบบที่ 1 ราวกันตกแบบที่ 6 และราวกันตกแบบที่ 2 ตามลำดับ

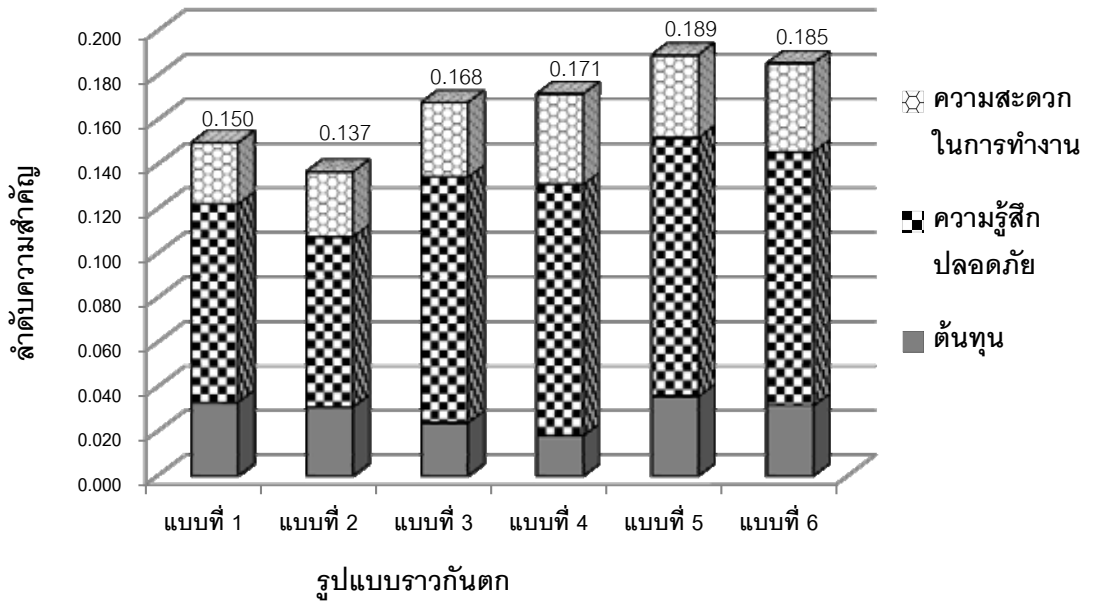
2) ปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย

รูปแบบราวกันตกที่มีลำดับความสำคัญของปัจจัยความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุดหรือรูปแบบราวกันตกที่คนงานมีความรู้สึกปลอดภัยมาก คือ ราวกันตกแบบที่ 6 หรือราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม. ซึ่งคนงานมีความรู้สึกปลอดภัยใกล้เคียงกันกับราวกันตกแบบที่ 5 ราวกันตกแบบที่ 4 และราวกันตกแบบที่ 3 ตามลำดับ

3) ปัจจัยความสะดวกในการทำงาน

รูปแบบราวกันตกที่มีลำดับความสำคัญของปัจจัยความสะดวกในการทำงานมากที่สุดหรือรูปแบบราวกันตกที่มีความสะดวกในการทำงานมากต่อคนงาน คือ ราวกันตกแบบที่ 4 หรือราวกันตกที่มีระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม. ซึ่งคนงานรู้สึกมีความสะดวกใกล้เคียงกันกับราวกันตกแบบที่ 6

เมื่อพิจารณารวมค่าลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้ง 3 ด้านแล้ว พบว่าค่าลำดับความสำคัญของปัจจัยด้านต้นทุนและความสะดวกเริ่มส่งผลกับการตัดสินใจเลือกรูปแบบราวกันตกเมื่อมีค่าลำดับความสำคัญของปัจจัยด้านความปลอดภัยใกล้เคียงกันดังรูปแบบราวกันตกที่ 3 รูปแบบราวกันตกที่ 4 รูปแบบราวกันตกที่ 5 และรูปแบบราวกันตกที่ 6 ดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 ลำดับความสำคัญรวมของทางเลือกในการออกแบบราวกันตก

เมื่อคิดผลรวมลำดับความสำคัญของปัจจัยต้นทุน ปัจจัยความรู้สึกปลอดภัย และปัจจัยความสะดวกในการทำงานจากตารางที่ 6.11 และภาพที่ 6.5 ได้รูปแบบราวกันตกที่มีผลรวมลำดับความสำคัญมากที่สุด หรือรูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง คือ ราวกันตกแบบที่ 5 หรือราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.

6.4 สรุปแนวทางการออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

จากการศึกษาและทำการวิจัยวิธีการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง สามารถสรุปเป็นแนวทางการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในกรณีการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูง โดยรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบความปลอดภัยทั้งหมดที่กล่าวในบทนี้ มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1) กำหนดวัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบป้องกันการตก จำแนกตามพื้นที่หรือลักษณะงานที่ทำ และแนวทางของคำตอบในแต่ละวัตถุประสงค์ ซึ่งอาจส่งผลให้ทางเลือกของรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันการตกแตกต่างกันออกไปในแต่ละลักษณะงานที่ทำ

2) กำหนดปัจจัยที่ต้องใช้ในการพิจารณาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนด เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ความสะดวกในการทำงาน วัสดุที่ใช้ ลักษณะการติดตั้ง ซึ่งขึ้นกับลักษณะงานที่ทำ

3) กำหนดทางเลือกของการออกแบบ เช่น รูปแบบของเครื่องมือป้องกันการตกแบบต่างๆ ภายใต้วัตถุประสงค์ของลักษณะงาน

4) ออกแบบและสร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติ ให้มีสภาพแวดล้อม 3 มิติตรงตามวัตถุประสงค์ และทางเลือกของการออกแบบ พัฒนาโปรแกรมให้เข้ากับเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

5) ออกแบบแบบสอบถามสำหรับผู้ประเมินความสำคัญแต่ละปัจจัย และสำหรับการทดสอบความรู้สึกด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ตามปัจจัยต่างๆ ที่กำหนด

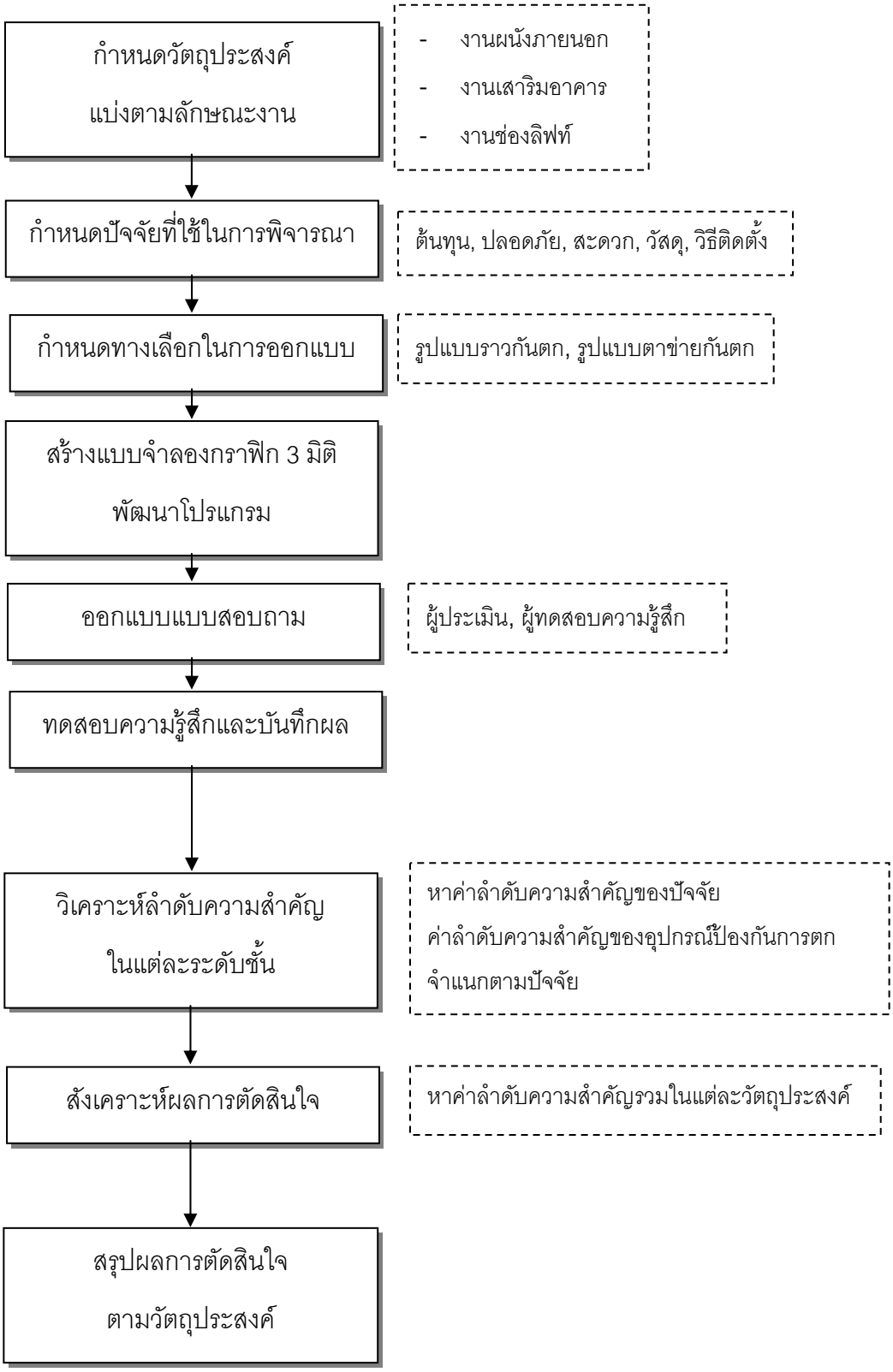
6) ทดสอบความรู้สึกโดยใช้เครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงกับผู้ทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด และบันทึกผลตามแบบสอบถามที่ออกแบบไว้

7) วิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกของการออกแบบ

8) สังเคราะห์ผลของทางเลือกที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์จากผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญทั้งหมด

9) สรุปผลของทางเลือกที่เหมาะสมตามแต่ละวัตถุประสงค์การใช้งาน

ขั้นตอนของการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูง สามารถเขียนสรุปเป็นแผนภาพดังภาพที่ 6.11



ภาพที่ 6.11 สรุปขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

6.5 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้นำผลจากการประเมินของผู้มีประสบการณ์ทางด้านความปลอดภัย และผลการทดสอบจากเครื่องมือทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างโดยใช้เครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง มาวิเคราะห์หารูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างมากที่สุด โดยใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) พบว่า ราวกันตกแบบที่ 5 หรือ ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม. เป็นรูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง เมื่อพิจารณาจาก 3 ปัจจัย คือ ต้นทุน ความรู้สึกปลอดภัยของคนงานก่อสร้าง และความสะดวกในการทำงานของคนงานก่อสร้าง และสามารถสรุปแนวทางการออกแบบเครื่องมือป้องกันการตก โดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานได้

บทที่ 7

บทสรุป

7.1 สรุปผลการวิจัย

อุตสาหกรรมก่อสร้างมีสถิติของอุบัติเหตุเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น เนื่องจากว่าโครงการก่อสร้างมีลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้าน ชนิด ขนาด สถานที่ สิ่งแวดล้อม และวิธีการก่อสร้างอยู่เสมอ เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายจากการทำงานพบว่า สาเหตุเนื่องจากการตกจากที่สูงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตมากที่สุด การป้องกันอุบัติเหตุในงานก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรก แต่ในปัจจุบันกิจการก่อสร้างก็ยังคงมีอัตราการประสบอันตรายที่ค่อนข้างสูงอันเนื่องมาจากผู้ประกอบการขาดความใส่ใจในด้านความปลอดภัยและมีความประมาท หรือรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของคนงานก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่การป้องกันอันตรายในสถานที่ทำงาน ผู้ประกอบการมักคำนึงถึงเฉพาะการออกแบบป้องกันให้ได้ตามหลักมาตรฐานความปลอดภัย แต่ไม่ได้คำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้างโดยเฉพาะงานทางด้านอาคารสูง ในด้านความเพียงพอของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในความปลอดภัยที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้สึกสามารถทำงานได้ด้วยความปลอดภัย ซึ่งถ้าผู้ปฏิบัติงานรู้สึกวิตกกังวล รู้สึกว่างานที่ตนทำอยู่นั้นยังมีความเสี่ยงสูง ทั้งที่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ป้องกัน อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีระดับความสามารถในการทำงานนั้นลดลง ทำให้การทำงานล่าช้าหรือไม่ได้คุณภาพ เกิดอุบัติเหตุในการทำงาน หรือลาหยุดจากงานได้

ในการวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน จึงมีแนวคิดในการหาวิธีป้องกันที่เหมาะสมกับงานอาคารสูง ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบระบบป้องกันการตกจากที่สูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้เครื่องมือในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Environment) ช่วยในการวัดความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีขอบเขตการวิจัยคือ ศึกษาเฉพาะการก่อสร้างอาคารสูง และศึกษาเฉพาะระบบป้องกันการตกจากที่สูง โดยเฉพาะราวกันตก (Guardrail) เท่านั้น

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาการออกแบบราวกันตก และระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี 3 ปัจจัยได้แก่

1) ต้นทุน
2) ความรู้สึกปลอดภัยของคนงาน
3) ความสะดวกในการทำงานของคนงาน

และรูปแบบของราวกันตกที่นำมาพิจารณาออกแบบ มี 6 แบบ ได้แก่

1) ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 90 ซม.
2) ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 120 ซม.
3) ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.
4) ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.
5) ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.
6) ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.

โดยได้ทำการทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยวิธีการทดสอบต่างกันเพื่อให้เห็นความแตกต่างของความสามารถในการวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้างแต่ละวิธีทดสอบ มี 3 วิธี ได้แก่

1) การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยภาพสองมิติบอกขนาดและลักษณะเฉพาะของราวกันตก
2) การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยภาพสองมิติให้เห็นภาพราวกันตกเทียบกับขนาดตัวของคนงานก่อสร้าง
3) การทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้างด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

จากผลการทดสอบ 3 วิธีพบว่า วิธีทดสอบที่มีความสามารถในการวัดความรู้สึกมากที่สุดในการทดสอบความรู้สึกของคนงาน คือ การทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

โดยจะนำผลการทดสอบด้วยวิธีนี้มาวิเคราะห์หารูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงด้วยกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

จากกรณีศึกษา ผลจากการตอบแบบสัมภาษณ์ของผู้ประเมิน 6 คน พบว่าน้ำหนักของปัจจัยทางด้านความปลอดภัยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 62 รองลงมาคือ ปัจจัยทางด้านความสะดวกในการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 21 ปัจจัยทางด้านต้นทุนร้อยละ 17 ตามลำดับ โดยนำน้ำหนักของแต่ละปัจจัยมาวิเคราะห์รวมกับผลการทดสอบความรู้สึกด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ได้รูปแบบราวกันตกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงคือ ราวกันตกแบบราวแบบตะแกรงขนาด 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถออกแบบเครื่องมือป้องกันการตกจากที่สูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงานได้

จากวิธีการออกแบบระบบราวกันตกที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเป็นแนวทางการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในกรณีการออกแบบระบบป้องกันการตกในงานก่อสร้างอาคารสูงโดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1) กำหนดวัตถุประสงค์ของการออกแบบ จำแนกตามพื้นที่หรือลักษณะงานที่ทำ และแนวทางของคำตอบในแต่ละวัตถุประสงค์

2) กำหนดปัจจัยที่ต้องใช้ในการพิจารณาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนด เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ความสะดวกในการทำงาน วัสดุที่ใช้ ลักษณะการติดตั้ง

3) กำหนดทางเลือกของการออกแบบ เช่น รูปแบบของเครื่องมือป้องกันการตกแบบต่างๆ

4) ออกแบบและสร้างแบบจำลองกราฟิก 3 มิติ ให้มีสภาพแวดล้อม 3 มิติตรงตามวัตถุประสงค์ และทางเลือกของการออกแบบ พัฒนาโปรแกรมให้เข้ากับเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

5) ออกแบบแบบสอบถามการทดสอบด้วยเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ตามปัจจัยต่างๆ ที่กำหนด

6) ทดสอบโดยใช้เครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงกับผู้ทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด และบันทึกผลตามแบบสอบถามที่ออกแบบไว้

7) วิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกของการออกแบบ

8) สังเคราะห์ผลของทางเลือกที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์จากผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญทั้งหมด

9) สรุปผลของทางเลือกที่เหมาะสมตามแต่ละวัตถุประสงค์การใช้งาน

7.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

การทดสอบในงานวิจัยนี้อาจมีผลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงด้านความรู้สึกของคนงานสำหรับการทดสอบในแต่ละวิธี เนื่องจากต้องทดสอบคนงานหลายครั้ง ทำให้คนงานต้องเสียเวลาในการทำงานก่อสร้างเป็นอย่างมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อนายจ้าง จึงต้องทำการทดสอบทั้ง 3 วิธีพร้อมกันใน 1 ครั้ง ซึ่งอันที่จริงแล้วควรจะแยกทดสอบในแต่ละวิธีและแต่ละครั้ง แต่ไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ทดสอบอีกด้วย ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ผู้ทดสอบเพียง 10 คน

ผลจากการคำนวณลำดับความสำคัญของ 3 ปัจจัยในการวิจัยนี้ อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงจากการวิจัยนี้ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนและความคิดเห็นของผู้ประเมิน ซึ่งถ้าจำนวนของผู้ประเมินที่เป็นเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยมากกว่าผู้ประกอบการ ปัจจัยด้านความปลอดภัยย่อมมีลำดับความสำคัญมาเป็นอันดับ 1 และต่างจากปัจจัยอื่นมาก ดังเช่นผลในการวิจัยนี้

เมื่อกล่าวถึงเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในปัจจุบัน ยังมีข้อจำกัดบางประการ คือ ไม่สามารถรับรู้ถึงระดับความกดอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง ลมที่พัดมาปะทะกับตัวคน หรือความรู้สึกด้านการสัมผัสสิ่งของ ซึ่งเครื่องมือจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงเป็นเพียงการมองเห็นเท่านั้น

7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการประยุกต์ใช้

รูปแบบของราวกันตกที่เหมาะสมในการวิจัยนี้เป็นเพียงกรณีศึกษาที่ใช้ผู้ทดสอบและผู้ประเมินในกลุ่มหนึ่งภายใต้ปัจจัย 3 ปัจจัยเท่านั้น ต้องมีการเพิ่มจำนวนของผู้ทดสอบและผู้ประเมิน และครอบคลุมทุกปัจจัยเพื่อความถูกต้องในการตัดสินใจ อาจทำเป็นรูปแบบของราวกันตกที่เหมาะสมที่สามารถใช้ได้ทุกกลุ่มหรือทุกองค์กร หรือเฉพาะองค์กรของตัวเองเท่านั้น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการดำเนินกิจการของสถานประกอบการนั้น

การวัดความรู้สึกของผู้ทดสอบ ทุกครั้งควรบรรยายลักษณะของความรู้สึกให้ผู้ทดสอบเข้าใจให้ชัดเจนในการวัดความรู้สึกในแต่ละด้าน เพื่อป้องกันความรู้สึกสับสนของผู้ทดสอบ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิดานันท์ มลิทอง. เทคโนโลยีและการสื่อสารเพื่อการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์อรุณการพิมพ์, 2548.

เกษมศักดิ์ มิตรเกษม. การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

จุฑาภรณ์ บูรณะโอสถ. การพัฒนาองค์ประกอบและเกณฑ์การประเมินคุณภาพวิทยานิพนธ์ของนิสิตคณะครุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: การเปรียบเทียบวิธีค่าเฉลี่ยน้ำหนัก และวิธี เอ เอช พี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ปรีดิ์ณัฐ ภาณุมนต์วาที. การศึกษาความตระหนักด้านความปลอดภัยของแรงงานไทยในงานก่อสร้างอาคารสูง กรณีศึกษา : การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

มงคล ฉันท์ไพศาล. การศึกษาการใช้แบบจำลองเสมือนจริงในการเพิ่มความสามารถในการสื่อสารในช่วงการออกแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

มาตรฐาน ว.ส.ท. มาตรฐานความปลอดภัยในการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2538.

รติกร ลีละยุทธสุนทร. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวก่อความเครียดในงาน ความเครียด วิธีการจัดการกับตัวก่อความเครียด วิธีการจัดการกับความเครียด โดยมีความอดทนต่อแรงกดดัน ความต้องการประสบความสำเร็จ และความต้องการสัมพันธ์เป็นตัวแปรกำกับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาจิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การ คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วิฑูรย์ ตันสิริคงคล. AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ : กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง, 2542.

สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. แนวปฏิบัติการบริหารความปลอดภัยในการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ร้อยสิบเอ็ดธุรกิจ, 2542.

สันติ ชินานุวัติวงศ์. วิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

เสริมสิน วชิราพรพฤต. ความสัมพันธ์ของระดับมาตรการความปลอดภัยกับค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของโครงการก่อสร้างอาคารสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

อนามัย เทศกะทึก. อาชีวอนามัยและความปลอดภัย (ฉบับปรับปรุงใหม่). พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, 2551.

อรุณ ชัยเสรี. อันตรายจากการก่อสร้างและวิธีป้องกัน. แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Eddy M. Rojas. Virtual Environments for Construction Engineering and Management Education. Construction Congress VI: Building Together for a Better Tomorrow in an Increasingly Complex World. Kenneth D. Walsh (February 2000) : 263-270.

Fu-Lin Chang, Yih-Min Sun, Kao-Hsing Chuang, Der-Jen Hsu. Work fatigue and physiological symptoms in different occupations of high-elevation construction workers. Applied Ergonomics: Human Factors in Technology and Society (2009) : 591-596.

Holly M. Johnson, Amarjit Singh, Member, ASCE, and Reginald H. F. Young, Fellow, ASCE. Fall Protection Analysis for Workers on Residential Roofs. Journal of Construction Engineering and Management 124-5, (September/October 1998) : 418-428.

Miura, T., Ikeda, M., Osanai, H. Modern Labour Sanitation. The Institute for Science of Labour, Japan (1993).

Speltz, F. The Use of Virtual Reality in the Development Process of a Physical Prototyping Laboratory. Machine and Vehicle Design Chalmers University of Technology. 2001.

United States Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration [Online]. Available from : http://www.osha.gov/ [2010, March 20]

Virtual Reality Development. Virtual Worldlets Network [Online]. Available from : http://www.virtualworldlets.net/ [2010, March 20]

An Introduction to Personal Fall Protection Equipment. Work Safe BC [Online]. Available from : http://www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/fall_protection.pdf. [2010, March 20]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้ประเมิน

ตารางที่ ก.1 ผู้ประเมินปัจจัยในการออกแบบราวกันตกสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

ผู้ประเมิน	ชื่อ-สกุล	บริษัท	ตำแหน่ง	ประสบการณ์ก่อสร้าง (ปี)
1	คุณสถิตพงศ์ โตลักษณะ	บริษัท สี่พระยาก่อสร้าง จำกัด	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	3
2	คุณชัยมงคล สังเขป	บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	16
3	คุณวิชัย ประมวญสมบัติ	บริษัท อาคาร 33 จำกัด	ผู้จัดการโครงการ	19
4	คุณสมเกียรติ จึงจรูญ	บริษัท อีเอ็มซี จำกัด (มหาชน)	ผู้จัดการโครงการ	10
5	คุณวันชัย ประดิษฐกำจรชัย	บริษัท เพาเวอร์ไลน์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน)	วิศวกรความปลอดภัย	10
6	คุณไพรัตน์ หาญรัตนประเสริฐ	บริษัท อินฟีนิท เอนจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสทรัคชั่น จำกัด	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	20

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามสำหรับประเมินปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ

แบบสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงาน/ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างอาคารสูง

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคล

1. ชื่อ.....
2. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
3. อายุ.....ปี
4. วุฒิการศึกษา

   (ระบุ).....
5. ประสบการณ์ทำงานในการก่อสร้างรวม.....ปี
6. ประสบการทำงานในการก่อสร้างอาคารสูงรวม.....ปี
7. งานหรือตำแหน่งงานที่ท่านรับผิดชอบ (ระบุ)

   .....
8. ท่านมีส่วนช่วยในการจัดการทำหรือออกแบบราวกันตกอย่างไร

   ( ) เป็นผู้จัดทำหรือออกแบบ

   ( ) เป็นที่ปรึกษาหรือให้คำแนะนำ

   ( ) อื่นๆ ระบุ.....

ส่วนที่ 2 : ปัจจัยการออกแบบและทำราวกันตก

กรุณาให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยในการทำราวกันตกเมื่อเทียบเป็นคู่

มากกว่า ◄——— เท่ากัน ———► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย																		ความสะดวกในการทำงาน
ความรู้สึกปลอดภัย																		ต้นทุน
ความสะดวกในการทำงาน																		ต้นทุน

เกณฑ์การให้คะแนน

ค่าของตัวเลข	ความหมาย
1	มีความสำคัญเท่ากัน
2	↓
3	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่ากันเล็กน้อย
4	↓
5	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับปานกลาง
6	↓
7	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับค่อนข้างมาก
8	↓
9	มีความสำคัญน้อยกว่าหรือมากกว่าในระดับมากที่สุด

ท่านคิดว่าควรจะมีปัจจัยอื่นนอกจากปัจจัยด้านบนอีกหรือไม่ (ถ้ามีโปรดระบุ)

……

……

……

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

……

……

……

ภาคผนวก ค

แบบสอบถามสำหรับวัดความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

แบบสัมภาษณ์คนงานในสถานที่ก่อสร้างอาคารสูง

ข้อมูลส่วนบุคคล

1. ชื่อ.....
2. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
3. อายุ.....ปี
4. ระดับการศึกษา
   ( ) ไม่ได้เรียนหนังสือ
   ( ) ประถมศึกษาปีที่ 1-6
   ( ) มัธยมศึกษาปีที่ 1-3
   ( ) มัธยมศึกษาปีที่ 4-6
   ( ) ปวช. , ปวส.
   ( ) ปริญญาตรีขึ้นไป
5. ประสบการณ์ทำงานในการก่อสร้างรวม.....ปี
6. ประสบการทำงานในการก่อสร้างอาคารสูงรวม.....ปี
7. ลักษณะงานที่ท่านรับผิดชอบ
   (ระบุ).....
8. ท่านเคยได้รับอุบัติเหตุจากการทำงานหรือไม่ ( ) เคย ( ) ไม่เคย
   โปรดระบุอุบัติเหตุที่ท่านได้รับ
   .....

แบบทดสอบที่ 1

จงกากบาทให้คะแนนความรู้สึกปลอดภัย

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ปลอดภัยมาก สามารถทำงานได้ดี

4 = ปลอดภัยค่อนข้างมาก ทำงานได้ช้าลง แต่ไม่มากของที่เคยทำได้

3 = ปลอดภัยปานกลาง ทำงานได้ช้าลงครึ่งหนึ่งของที่เคยทำได้

2 = ปลอดภัยเล็กน้อย ทำงานได้ช้าลงค่อนข้างมากของที่เคยทำได้

1 = ไม่ปลอดภัย ทำงานไม่ได้

จงกากบาทให้คะแนนความสะดวกในการทำงาน

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ทำงานได้สะดวกมาก ไม่ติดขัด

4 = ทำงานได้ค่อนข้างสะดวก แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงเล็กน้อย

3 = ทำงานได้ แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงครึ่งหนึ่ง

2 = ทำงานได้ไม่สะดวกนัก ค่อนข้างติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงมาก

1 = ทำงานไม่ได้ ติดขัดไปหมดกับราวนี้

แบบทดสอบที่ 2

จงกากบาทให้คะแนนความรู้สึกปลอดภัย

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ปลอดภัยมาก สามารถทำงานได้ดี

4 = ปลอดภัยค่อนข้างมาก ทำงานได้ช้าลง แต่ไม่มากของที่เคยทำได้

3 = ปลอดภัยปานกลาง ทำงานได้ช้าลงครึ่งหนึ่งของที่เคยทำได้

2 = ปลอดภัยเล็กน้อย ทำงานได้ช้าลงค่อนข้างมากของที่เคยทำได้

1 = ไม่ปลอดภัย ทำงานไม่ได้

จงกากบาทให้คะแนนความสะดวกในการทำงาน

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ทำงานได้สะดวกมาก ไม่ติดขัด

4 = ทำงานได้ค่อนข้างสะดวก แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงเล็กน้อย

3 = ทำงานได้ แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงครึ่งหนึ่ง

2 = ทำงานได้ไม่สะดวกนัก ค่อนข้างติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงมาก

1 = ทำงานไม่ได้ ติดขัดไปหมดกับราวนี้

แบบทดสอบที่ 3

จงกากบาทให้คะแนนความรู้สึกปลอดภัย

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ปลอดภัยมาก สามารถทำงานได้ดี

4 = ปลอดภัยค่อนข้างมาก ทำงานได้ช้าลง แต่ไม่มากของที่เคยทำได้

3 = ปลอดภัยปานกลาง ทำงานได้ช้าลงครึ่งหนึ่งของที่เคยทำได้

2 = ปลอดภัยเล็กน้อย ทำงานได้ช้าลงค่อนข้างมากของที่เคยทำได้

1 = ไม่ปลอดภัย ทำงานไม่ได้

จงกากบาทให้คะแนนความสะดวกในการทำงาน

	5	4	3	2	1	ตอบไม่ได้
ราวแบบที่ 1						
ราวแบบที่ 2						
ราวแบบที่ 3						
ราวแบบที่ 4						
ราวแบบที่ 5						
ราวแบบที่ 6						

เกณฑ์ระดับคะแนน

5 = ทำงานได้สะดวกมาก ไม่ติดขัด

4 = ทำงานได้ค่อนข้างสะดวก แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงเล็กน้อย

3 = ทำงานได้ แต่อาจติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงครึ่งหนึ่ง

2 = ทำงานได้ไม่สะดวกนัก ค่อนข้างติดขัดกับราว ทำให้งานช้าลงมาก

1 = ทำงานไม่ได้ ติดขัดไปหมดกับราวนี้

ภาคผนวก ง

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักปัจจัยของผู้ที่มีประสบการณ์ด้านความปลอดภัย

ผู้ประเมินคนที่ 1

ตารางที่ ง.1 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1

มากกว่า ◄—— เท่ากัน ——► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย				/														ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย	/																	ต้นทุน
ความสะดวก				/														ต้นทุน

ตารางที่ ง.2 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก
ต้นทุน	1	1/9	1/6
ความรู้สึกปลอดภัย	9	1	6
ความสะดวก	6	1/6	1

ตารางที่ ง.3 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 1

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก
ต้นทุน	1	1/9	2/3
ความรู้สึกปลอดภัย	9	1	6
ความสะดวก	3/2	1/6	1

ผู้ประเมินคนที่ 2

ตารางที่ ง.4 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2

มากกว่า ◄—— เท่ากัน ——► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย				/														ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย									/									ต้นทุน
ความสะดวก									/									ต้นทุน

ตารางที่ ง.5 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1	1
ความรู้สึกปลอดภัย	1	1	6
ความสะดวก	1	1/6	1

ตารางที่ ง.6 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 2

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1	6
ความรู้สึกปลอดภัย	1	1	6
ความสะดวก	1/6	1/6	1

ผู้ประเมินคนที่ 3

ตารางที่ ง.7 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 3

มากกว่า ◄——— เท่ากัน ———► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย					/													ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย					/													ต้นทุน
ความสะดวก							/											ต้นทุน

ตารางที่ ง.8 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 3

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/5	1/3
ความรู้สึกปลอดภัย	5	1	5
ความสะดวก	3	1/5	1

ตารางที่ ง.9 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของบุคคลที่ 3

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/5	1
ความรู้สึกปลอดภัย	5	1	5
ความสะดวก	1	1/5	1

ผู้ประเมินคนที่ 4

ตารางที่ ง.10 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4

มากกว่า ◄—— เท่ากัน ——► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย											/							ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย						/												ต้นทุน
ความสะดวก					/													ต้นทุน

ตารางที่ ง.11 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก
ต้นทุน	1	1/4	1/5
ความรู้สึกปลอดภัย	4	1	1/3
ความสะดวก	5	3	1

ตารางที่ ง.12 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 4

ปัจจัย	ต้นทุน	ความรู้สึกปลอดภัย	ความสะดวก
ต้นทุน	1	3/5	1/5
ความรู้สึกปลอดภัย	5/3	1	1/3
ความสะดวก	5	3	1

ผู้ประเมินคนที่ 5

ตารางที่ ง.13 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 5

มากกว่า ◄——— เท่ากัน ———► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย					/													ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย			/															ต้นทุน
ความสะดวก			/															ต้นทุน

ตารางที่ ง.14 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 5

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/7	1/7
ความรู้สึกปลอดภัย	7	1	5
ความสะดวก	7	1/5	1

ตารางที่ ง.15 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 5

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/7	5/7
ความรู้สึกปลอดภัย	7	1	5
ความสะดวก	7/5	1/5	1

ผู้ประเมินคนที่ 6

ตารางที่ ง.16 ผลการตอบแบบสอบถามเปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 6

มากกว่า ◄—— เท่ากัน ——► มากกว่า

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความรู้สึกปลอดภัย	/																	ความสะดวก
ความรู้สึกปลอดภัย			/															ต้นทุน
ความสะดวก			/															ต้นทุน

ตารางที่ ง.17 เมตริกซ์เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 6

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/7	1/7
ความรู้สึกปลอดภัย	7	1	9
ความสะดวก	7	1/9	1

ตารางที่ ง.18 เมตริกซ์ปรับแก้เปรียบเทียบเป็นคู่ระหว่าง 3 ปัจจัยของผู้ประเมินคนที่ 6

ปัจจัย	**ต้นทุน**	**ความรู้สึกปลอดภัย**	**ความสะดวก**
ต้นทุน	1	1/7	9/7
ความรู้สึกปลอดภัย	7	1	9
ความสะดวก	7/9	1/9	1

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานก่อสร้าง

ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 1

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	3	2	1	2.00	0.82	0.41
ราว 2	4	3	3	4	3.50	0.58	0.16
ราว 3	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 4	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 5	5	4	4	3	4.00	0.82	0.20
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.29	0.08

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	1	1	1.25	0.50	0.40
ราว 2	4	2	2	3	2.75	0.96	0.35
ราว 3	2	3	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 4	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 5	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.50	0.19

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	1	2	1.50	0.58	0.38
ราว 2	1	4	4	4	3.25	1.50	0.46
ราว 3	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 4	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 5	4	4	3	3	3.50	0.58	0.16
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.29	0.08

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	1	1	1.25	0.50	0.40
ราว 2	1	2	2	3	2.00	0.82	0.41
ราว 3	3	2	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 4	4	3	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 5	3	4	2	3	3.00	0.82	0.27
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.50	0.25

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	3	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 2	1	3	4	3	2.75	1.26	0.46
ราว 3	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 4	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 5	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.25	0.06

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	1	1	1.25	0.50	0.40
ราว 2	1	2	2	2	1.75	0.50	0.29
ราว 3	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 4	4	3	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 5	4	3	4	3	3.50	0.58	0.16
ราว 6	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.50	0.15

ตารางที่ จ.2 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 2

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	2	2	1.50	0.58	0.38
ราว 2	4	1	3	4	3.00	1.41	0.47
ราว 3	1	3	4	5	3.25	1.71	0.53
ราว 4	1	5	3	5	3.50	1.91	0.55
ราว 5	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 6	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
					Median	1.00	0.43

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	2	1	1.25	0.50	0.40
ราว 2	3	1	1	3	2.00	1.15	0.58
ราว 3	1	3	2	4	2.50	1.29	0.52
ราว 4	1	5	3	5	3.50	1.91	0.55
ราว 5	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 6	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
					Median	1.08	0.46

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	2	2	1.50	0.58	0.38
ราว 2	1	2	2	3	2.00	0.82	0.41
ราว 3	3	2	4	4	3.25	0.96	0.29
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	2	5	5	5	4.25	1.50	0.35
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.70	0.32

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	1	3	1.50	1.00	0.67
ราว 2	1	2	1	2	1.50	0.58	0.38
ราว 3	3	2	4	3	3.00	0.82	0.27
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	2	5	5	5	4.25	1.50	0.35
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.70	0.31

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	3	2	2.00	0.82	0.41
ราว 2	1	2	2	2	1.75	0.50	0.29
ราว 3	5	5	2	5	4.25	1.50	0.35
ราว 4	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
ราว 5	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.66	0.25

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	1	1	1.25	0.50	0.40
ราว 2	1	2	2	2	1.75	0.50	0.29
ราว 3	5	5	1	3	3.50	1.91	0.55
ราว 4	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 5	5	5	3	5	4.50	1.00	0.22
ราว 6	5	5	4	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.50	0.25

ตารางที่ จ.3 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 3

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 2	4	4	2	4	3.50	1.00	0.29
ราว 3	4	4	3	4	3.75	0.50	0.13
ราว 4	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
ราว 5	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.50	0.13

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	2	2	1.75	0.50	0.29
ราว 2	4	2	1	3	2.50	1.29	0.52
ราว 3	4	2	2	3	2.75	0.96	0.35
ราว 4	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 5	4	2	3	3	3.00	0.82	0.27
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.66	0.28

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	2	3	2.75	0.50	0.18
ราว 2	4	5	2	4	3.75	1.26	0.34
ราว 3	3	4	3	4	3.50	0.58	0.16
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.25	0.08

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	1	2	1.75	0.50	0.29
ราว 2	5	4	1	3	3.25	1.71	0.53
ราว 3	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	4	2	3	2	2.75	0.96	0.35
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.54	0.26

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 2	4	4	3	4	3.75	0.50	0.13
ราว 3	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	5	4	3	4	4.00	0.82	0.20
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.25	0.06

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	1	2	1.75	0.50	0.29
ราว 2	4	2	3	3	3.00	0.82	0.27
ราว 3	5	2	3	3	3.25	1.26	0.39
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	5	2	2	3	3.00	1.41	0.47
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.66	0.28

ตารางที่ จ.4 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 4

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	1	2	1.25	0.50	0.40
ราว 2	4	1	3	1	2.25	1.50	0.67
ราว 3	1	3	3	3	2.50	1.00	0.40
ราว 4	1	5	3	5	3.50	1.91	0.55
ราว 5	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 6	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
					Median	1.00	0.40

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	1	2	1.25	0.50	0.40
ราว 2	3	1	3	1	2.00	1.15	0.58
ราว 3	1	3	3	3	2.50	1.00	0.40
ราว 4	1	5	3	5	3.50	1.91	0.55
ราว 5	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 6	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
					Median	1.00	0.40

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	2	2	1.50	0.58	0.38
ราว 2	1	2	4	3	2.50	1.29	0.52
ราว 3	3	2	4	3	3.00	0.82	0.27
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	2	5	5	5	4.25	1.50	0.35
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.70	0.31

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	1	2	2	1.50	0.58	0.38
ราว 2	1	2	4	3	2.50	1.29	0.52
ราว 3	3	2	4	3	3.00	0.82	0.27
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	2	5	5	5	4.25	1.50	0.35
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.70	0.31

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	5	2	2	1	2.50	1.73	0.69
ราว 2	2	1	2	2	1.75	0.50	0.29
ราว 3	4	5	5	4	4.50	0.58	0.13
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 6	3	5	4	5	4.25	0.96	0.23
					Median	0.54	0.18

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	5	2	2	1	2.50	1.73	0.69
ราว 2	4	1	2	2	2.25	1.26	0.56
ราว 3	5	5	5	4	4.75	0.50	0.11
ราว 4	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 5	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
ราว 6	2	5	4	5	4.00	1.41	0.35
					Median	1.13	0.29

ตารางที่ จ.5 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 5

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	3	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 2	4	3	2	2	2.75	0.96	0.35
ราว 3	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	4	5	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 5	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.50	0.14

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 2	4	3	2	3	3.00	0.82	0.27
ราว 3	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 4	4	4	5	5	4.50	0.58	0.13
ราว 5	5	4	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.54	0.13

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	4	2	2	2.50	1.00	0.40
ราว 2	4	4	2	2	3.00	1.15	0.38
ราว 3	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	5	5	4	4	4.50	0.58	0.13
ราว 5	5	5	4	4	4.50	0.58	0.13
ราว 6	5	5	4	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.58	0.14

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	3	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 2	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 3	3	3	4	4	3.50	0.58	0.16
ราว 4	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
ราว 5	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 6	5	5	4	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.50	0.14

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	2	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 2	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 3	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	4	5	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 5	5	3	4	3	3.75	0.96	0.26
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.50	0.14

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 2	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 3	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 4	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
ราว 5	5	4	4	4	4.25	0.50	0.12
ราว 6	5	5	5	5	5.00	0.00	0.00
					Median	0.00	0.00

ตารางที่ จ.6 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 6

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	4	3.25	0.50	0.15
ราว 2	3	2	3	2	2.50	0.58	0.23
ราว 3	2	4	2	3	2.75	0.96	0.35
ราว 4	3	3	3	5	3.50	1.00	0.29
ราว 5	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 6	4	2	3	5	3.50	1.29	0.37
					Median	0.77	0.26

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 2	3	3	2	3	2.75	0.50	0.18
ราว 3	2	3	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 4	3	2	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 5	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 6	4	3	4	5	4.00	0.82	0.20
					Median	0.70	0.22

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	4	4	3	3.25	0.96	0.29
ราว 2	2	2	5	2	2.75	1.50	0.55
ราว 3	3	3	4	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	4	2	2	2	2.50	1.00	0.40
ราว 5	3	3	3	4	3.25	0.50	0.15
ราว 6	3	2	2	4	2.75	0.96	0.35
					Median	0.96	0.32

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	3	2	2.25	0.50	0.22
ราว 2	2	3	4	3	3.00	0.82	0.27
ราว 3	3	2	3	2	2.50	0.58	0.23
ราว 4	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 5	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 6	3	3	3	4	3.25	0.50	0.15
					Median	0.54	0.23

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 2	3	2	2	1	2.00	0.82	0.41
ราว 3	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	3	3	3	2	2.75	0.50	0.18
ราว 5	3	2	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 6	2	3	4	4	3.25	0.96	0.29
					Median	0.50	0.18

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 2	3	3	2	2	2.50	0.58	0.23
ราว 3	3	3	2	2	2.50	0.58	0.23
ราว 4	2	4	2	3	2.75	0.96	0.35
ราว 5	2	3	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 6	3	2	3	3	2.75	0.50	0.18
					Median	0.58	0.23

ตารางที่ จ.7 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 7

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	4	5	4	4.00	0.82	0.20
ราว 2	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 3	2	3	4	3	3.00	0.82	0.27
ราว 4	3	5	1	5	3.50	1.91	0.55
ราว 5	3	4	2	4	3.25	0.96	0.29
ราว 6	4	5	1	5	3.75	1.89	0.50
					Median	0.89	0.28

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	5	4	5	4.25	0.96	0.23
ราว 2	3	4	5	4	4.00	0.82	0.20
ราว 3	2	4	4	4	3.50	1.00	0.29
ราว 4	3	4	5	4	4.00	0.82	0.20
ราว 5	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 6	4	5	5	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.82	0.20

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	4	4	4	3.25	1.50	0.46
ราว 2	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 3	3	2	5	5	3.75	1.50	0.40
ราว 4	2	2	5	5	3.50	1.73	0.49
ราว 5	3	5	5	5	4.50	1.00	0.22
ราว 6	4	3	5	5	4.25	0.96	0.23
					Median	1.25	0.31

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	5	5	5	4.00	2.00	0.50
ราว 2	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
ราว 3	3	3	4	4	3.50	0.58	0.16
ราว 4	2	4	5	5	4.00	1.41	0.35
ราว 5	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 6	4	4	4	4	4.00	0.00	0.00
					Median	0.54	0.15

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	5	4	5	4	4.50	0.58	0.13
ราว 2	4	3	1	4	3.00	1.41	0.47
ราว 3	4	5	4	5	4.50	0.58	0.13
ราว 4	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 5	2	4	2	4	3.00	1.15	0.38
ราว 6	4	3	4	3	3.50	0.58	0.16
					Median	0.58	0.16

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	4	4	5	4.00	0.82	0.20
ราว 2	4	4	5	4	4.25	0.50	0.12
ราว 3	3	5	4	4	4.00	0.82	0.20
ราว 4	3	5	4	4	4.00	0.82	0.20
ราว 5	2	4	5	5	4.00	1.41	0.35
ราว 6	5	4	5	5	4.75	0.50	0.11
					Median	0.82	0.20

ตารางที่ จ.8 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 8

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	2	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 2	5	2	2	2	2.75	1.50	0.55
ราว 3	2	3	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 4	3	2	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 5	2	3	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 6	4	5	2	2	3.25	1.50	0.46
					Median	0.70	0.25

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	4	4	3.50	0.58	0.16
ราว 2	3	3	3	4	3.25	0.50	0.15
ราว 3	2	4	4	4	3.50	1.00	0.29
ราว 4	3	3	4	3	3.25	0.50	0.15
ราว 5	2	4	4	4	3.50	1.00	0.29
ราว 6	4	4	3	3	3.50	0.58	0.16
					Median	0.58	0.16

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 2	3	3	3	2	2.75	0.50	0.18
ราว 3	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 4	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 5	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 6	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
					Median	0.54	0.21

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	3	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 2	3	4	4	3	3.50	0.58	0.16
ราว 3	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 4	2	3	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 5	3	3	4	3	3.25	0.50	0.15
ราว 6	3	4	4	4	3.75	0.50	0.13
					Median	0.54	0.16

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	4	3	4	4	3.75	0.50	0.13
ราว 2	2	3	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 3	3	4	2	3	3.00	0.82	0.27
ราว 4	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 5	4	3	3	4	3.50	0.58	0.16
ราว 6	2	1	2	2	1.75	0.50	0.29
					Median	0.50	0.19

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 2	3	3	2	2	2.50	0.58	0.23
ราว 3	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 5	3	4	3	4	3.50	0.58	0.16
ราว 6	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
					Median	0.58	0.20

ตารางที่ จ.9 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 9

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	2	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 2	3	1	2	2	2.00	0.82	0.41
ราว 3	2	3	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 4	3	2	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 5	3	2	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 6	4	1	2	3	2.50	1.29	0.52
					Median	0.66	0.25

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	2	3	4	3.00	0.82	0.27
ราว 2	3	1	3	3	2.50	1.00	0.40
ราว 3	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 4	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 5	3	3	2	4	3.00	0.82	0.27
ราว 6	4	1	4	4	3.25	1.50	0.46
					Median	0.82	0.27

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	3	4	2.75	0.96	0.35
ราว 2	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 3	3	3	2	3	2.75	0.50	0.18
ราว 4	4	3	3	1	2.75	1.26	0.46
ราว 5	3	2	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 6	3	2	1	3	2.25	0.96	0.43
					Median	0.73	0.26

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 2	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
ราว 3	3	3	2	4	3.00	0.82	0.27
ราว 4	4	3	3	2	3.00	0.82	0.27
ราว 5	3	3	4	3	3.25	0.50	0.15
ราว 6	3	4	2	2	2.75	0.96	0.35
					Median	0.70	0.25

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	4	3	2	2	2.75	0.96	0.35
ราว 2	4	1	1	2	2.00	1.41	0.71
ราว 3	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 4	5	2	2	1	2.50	1.73	0.69
ราว 5	3	3	3	2	2.75	0.50	0.18
ราว 6	2	2	2	2	2.00	0.00	0.00
					Median	0.77	0.29

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	4	2	4	4	3.50	1.00	0.29
ราว 2	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 3	3	1	3	3	2.50	1.00	0.40
ราว 4	3	3	3	4	3.25	0.50	0.15
ราว 5	3	2	3	3	2.75	0.50	0.18
ราว 6	3	3	2	3	2.75	0.50	0.18
					Median	0.50	0.18

ตารางที่ จ.10 ผลการทดสอบความรู้สึกของคนงานรายที่ 10

แบบทดสอบที่ 1 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	4	2	2	2	2.50	1.00	0.40
ราว 2	4	3	2	3	3.00	0.82	0.27
ราว 3	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	4	4	3	4	3.75	0.50	0.13
ราว 5	5	5	4	4	4.50	0.58	0.13
ราว 6	5	5	4	4	4.50	0.58	0.13
					Median	0.58	0.14

แบบทดสอบที่ 1 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	4	2	2	2	2.50	1.00	0.40
ราว 2	4	2	2	3	2.75	0.96	0.35
ราว 3	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 4	4	4	3	3	3.50	0.58	0.16
ราว 5	5	4	3	4	4.00	0.82	0.20
ราว 6	5	5	3	4	4.25	0.96	0.23
					Median	0.89	0.21

แบบทดสอบที่ 2 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	1	2	2	2.00	0.82	0.41
ราว 2	3	2	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 3	4	1	3	3	2.75	1.26	0.46
ราว 4	4	1	4	4	3.25	1.50	0.46
ราว 5	5	2	5	4	4.00	1.41	0.35
ราว 6	5	2	5	4	4.00	1.41	0.35
					Median	1.34	0.38

แบบทดสอบที่ 2 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	2	2	2	2.25	0.50	0.22
ราว 2	3	3	3	3	3.00	0.00	0.00
ราว 3	4	3	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 4	4	2	3	4	3.25	0.96	0.29
ราว 5	5	3	3	4	3.75	0.96	0.26
ราว 6	5	3	4	4	4.00	0.82	0.20
					Median	0.66	0.21

แบบทดสอบที่ 3 ปลอดภัย

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	1	2	2	3	2.00	0.82	0.41
ราว 2	2	3	2	3	2.50	0.58	0.23
ราว 3	2	2	3	3	2.50	0.58	0.23
ราว 4	2	3	2	5	3.00	1.41	0.47
ราว 5	3	2	4	2	2.75	0.96	0.35
ราว 6	2	1	3	3	2.25	0.96	0.43
					Median	0.89	0.38

แบบทดสอบที่ 3 สะดวก

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	SD	V
ราว 1	3	3	2	4	3.00	0.82	0.27
ราว 2	4	4	3	5	4.00	0.82	0.20
ราว 3	3	3	2	3	2.75	0.50	0.18
ราว 4	4	4	3	4	3.75	0.50	0.13
ราว 5	3	4	3	3	3.25	0.50	0.15
ราว 6	2	2	3	2	2.25	0.50	0.22
					Median	0.50	0.19

ภาคผนวก ฉ

การประมาณราคาของราวกันตก จากราคากลางงานก่อสร้างปี 2555

ในการวิจัยนี้พิจารณาใช้วัสดุต่างๆ เพื่อที่จะทำราวกันตกทั้ง 6 แบบ พร้อมราคาต่อหน่วย ดังนี้

- ท่อเหล็กกลมผิวดำขนาด Ø 1½ นิ้ว หนา 2.0 มม. ราคา 357/6 บาท/เมตร
- ตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป ชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เหล็ก RB 24 ขนาด Ø 6 มม. @ 0.25 ราคา 45 บาท/ตร.ม.
- เหล็กแบนสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 นิ้ว หนา 3 มม. ราคา 105/6 บาท/เมตร
- ข้อเสือ ตัวละประมาณ 40 บาท

จากราคาค่าวัสดุข้างต้น สามารถคำนวณได้ค่าต้นทุนของราวกันตกแต่ละแบบต่อความยาวราวกันตก 2 เมตรได้ดังนี้

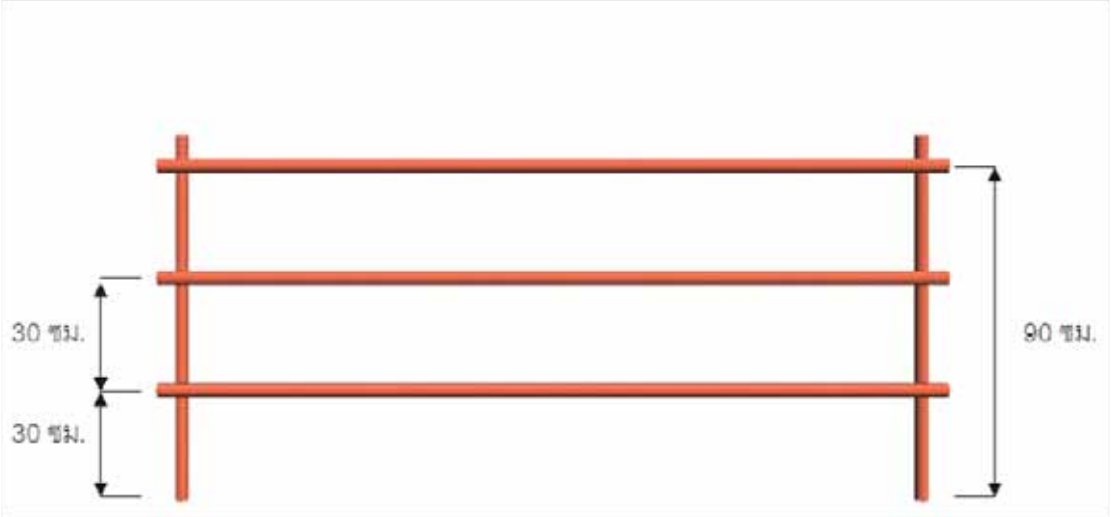
1) ราวกันตกแบบที่ 1 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 90 ซม.

	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	6	357
ข้อเสือ	ตัว	40	4	160
รวมต้นทุน				517

2) ราวกันตกแบบที่ 2 - ราวบนและราวกลาง ความสูงราวบน 120 ซม.

	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	6.6	392.7
ข้อเสือ	ตัว	40	4	160
รวมต้นทุน				552.7

3) ราวกันตกแบบที่ 3 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.

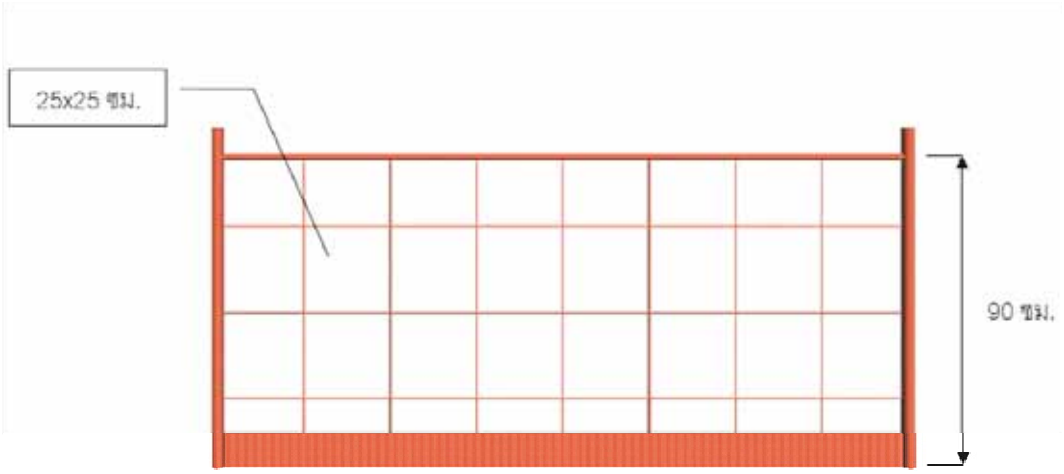


	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	8	476
ข้อเสือ	ตัว	40	6	240
รวมต้นทุน				716

4) ราวกันตกแบบที่ 4 - ระยะห่างระหว่างราวแนวนอน 30 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.

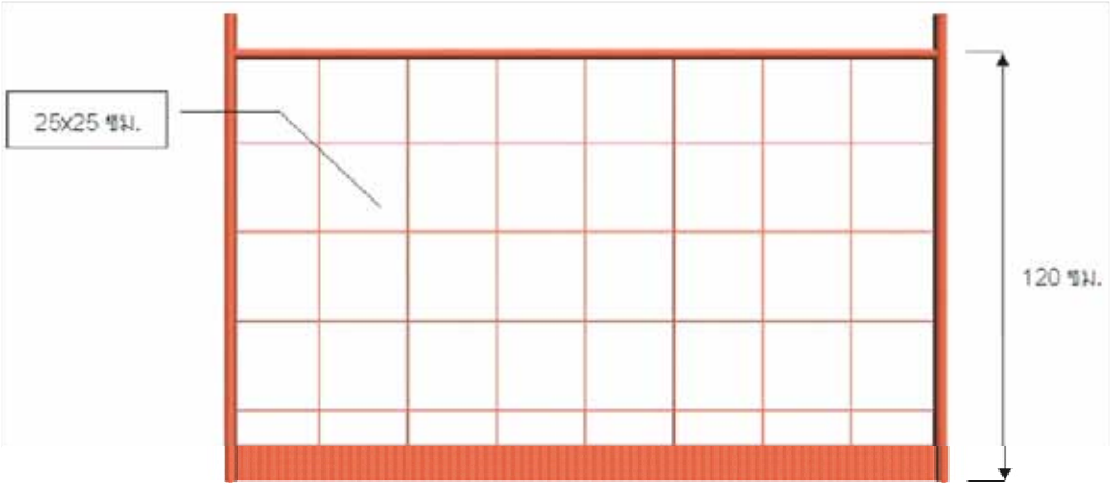
	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	10.6	630.7
ข้อเสือ	ตัว	40	8	320
รวมต้นทุน				950.7

5) ราวกันตกแบบที่ 5 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 90 ซม.



	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	4	238
ข้อเสือ	ตัว	40	2	80
เหล็กตะแกรง	ตร.ม.	45	2	90
เหล็กแบน 1 นิ้ว	เมตร	105/6	4	70
รวมต้นทุน				478

6) ราวกันตกแบบที่ 6 - ราวแบบตะแกรง 25 x 25 ซม. ความสูงราวบน 120 ซม.



	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)
ท่อเหล็ก Ø 1½ นิ้ว	เมตร	357/6	4.6	273.7
ข้อเสือ	ตัว	40	2	80
เหล็กตะแกรง	ตร.ม.	45	2.6	117
เหล็กแบน 1 นิ้ว	เมตร	105/6	4	70
รวมต้นทุน				540.7

ภาคผนวก ช

กฎหมายและมาตรฐานความปลอดภัยในงานก่อสร้าง

ประกาศกระทรวงมหาดไทยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย และการป้องกันอันตรายในงานก่อสร้างต่าง ๆ

เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วย ลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว (29 มกราคม 2524)

- ลิฟต์สูงเกิน 9 ม. ต้องออกแบบโดยวิศวกร
- กรณีติดตั้งภายในหอ ต้องจัดทำรั้วหรือตาข่ายสูง 2 ม. โดยรอบเว้นทางเข้าออก
- กรณีติดตั้งภายในปล่อง ต้องจัดทำรั้วสูง 2 ม. โดยรอบเว้นทางเข้าออก
- ทางเดิมเชื่อมลิฟต์กับสิ่งก่อสร้างต้องมีราวกันตก ขอบกันของตก และไม้ขวาง
- ก่อนการใช้งาน ต้องตรวจจับรองโดยวิศวกรและเก็บเอกสารดังกล่าวไว้
- ห้ามใช้ลิฟต์สายพาน

เรื่อง "ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยนั่งร้าน" (30 มิถุนายน 2525)

- ทำงานสูงเกิน 2 ม. ต้องจัดให้มีนั่งร้าน
- นั่งร้านต้องออกแบบโดยวิศวกร
- ให้จัดทำรั้วหรือคอกกั้น และปิดประกาศแสดงเขตก่อสร้าง
- ให้กำหนดเขตอันตราย และห้ามลูกจ้างที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าเขตนั้น
- ให้แจ้ง และปิดประกาศ และห้ามลูกจ้างพักอาศัยในอาคารที่กำลังก่อสร้างเขตอันตราย
- จัดทำรั้ว หรือคอกกั้น หรือแผงกั้นกันของตก
- ปิดประกาศ "เขตอันตราย"
- เวลากลางคืนติดสัญญาณไฟสีแดง
- มีราวกันตก 90-110 ซ.ม.
- พื้นปูติดต่อกันและ กว้าง ไม่น้อยกว่า 35 ซ.ม.
- มีบันไดลาดเอียงไม่เกิน 45 องศา
- ห้ามยึดโยงกับหอลิฟต์

- ปิดคลุมด้วยผ้าใบ หรือตาข่าย โดยรอบนั่งร้าน
- เหนือช่องทางเดิน ต้องปิดคลุมด้วยผ้าใบ หรือตาข่าย
- ต้องติดตั้งด้วยความมั่นคง แข็งแรง

เรื่อง "ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับปั้นจั่น" (17 เมษายน 2530)

- ฐานปั้นจั่นต้องมีความมั่นคงแข็งแรง
- ติดป้ายบอกพิกัดน้ำหนักยก
- ทำเครื่องหมายแสดงเขตอันตราย
- ทางเดินบนปั้นจั่นต้องไม่ลื่นและปลอดภัย
- ปั้นจั่นสูงเกิน 3 เมตร บันไดต้องมีราวจับและโกร่งหลัง
- กรณีใช้งานใกล้สายไฟฟ้า ต้องมีระยะห่างที่ปลอดภัย
- ห้ามใช้เชือกลวดเหล็กกล้า ที่ชำรุด
- ห้ามดัดแปลงหรือแก้ไขที่ทำให้ความปลอดภัยน้อยลง

เรื่อง "ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่ที่มี อันตรายจากการตกจากที่สูง วัสดุกระเด็น ตก หล่น และพังทลาย" (18 ตุลาคม 2534)

- จัดนั่งร้านให้ลูกจ้างที่ปฏิบัติงานสูงจากพื้นเกิน 2 ม.
- กรณีทำงานโดดเดี่ยวสูงเกิน 4 ม. จัดทำราวกันตก ตาข่ายหรือเข็มขัดนิรภัยให้ลูกจ้างสวมใส่
- ช่องเปิดหรือปล่อง จัดทำฝาปิดหรือรั้วกั้นความสูงอย่างน้อย 90 ซม.
- จัดทำไหล่ดิน หรือผนังกั้นกันดินพังทลาย
- ห้ามทำงานขณะมีพายุ ฝนฟ้าคะนอง

บันไดไต่

- ระยะห่างฐานถึงผนังกับความยาวต้องมีอัตราส่วน 1 ต่อ 4
- กว้างไม่น้อยกว่า 30 ซ.ม.
- มีความแข็งแรง และยึดมั่นคง
- หากสูงเกิน 10 ม. ต้องมีโกร่งหลัง

การป้องกันการกระเด็น

- ลำเลียงวัสดุจากที่สูง ต้องมีราง ปล่อง หรือเครื่องมือลำเลียงที่ปลอดภัย
- การสาดเท ต้องประกาศเขต และมีผู้ควบคุมการเข้าออกตลอดการสาดเท
- จัดให้มีแผ่นกั้น ผ้าใบ ตาข่าย

มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับงานก่อสร้างอาคาร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2538)

กำหนดไว้เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2518 สรุปการออกแบบเครื่องมือหรือการป้องกันบางประการ ดังนี้

ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับนั่งร้าน

- นั่งร้านที่สูงกว่า 3.70 เมตร ต้องสร้างรั้วกันตกด้วยการยึดด้วยสลักเกลียว, ค้ำยัน, หรือวิธีอื่นที่ทำให้มั่นคง โดยมีความสูงไม่ต่ำกว่า 90 ซม. และไม่เกิน 110 ซม. จากกระดานพื้นนั่งร้าน
- จะต้องยึดหรือค้ำยันเสานั่งร้าน เพื่อไม่ให้นั่งร้านเคลื่อนที่ออกไป
- เมื่อมีผู้ปฏิบัติงานอื่นทำงานเหนือศีรษะ ต้องจัดสิ่งป้องกันเหนือพื้นปฏิบัติงานนั้น
- เมื่อจำเป็นต้องให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานหรือเดินลอดใต้นั่งร้านที่กำลังทำงานอยู่ ต้องมีตาข่ายขึงให้มีระยะเลยแนวนั่งร้านออกไป โดยใช้ลวดขนาดไม่น้อยกว่าเบอร์ 18 (US. Standard Wire) และมีช่องตะแกรงไม่เกิน 1.20 ซม. ซึ่งถ้าไม่อาจป้องกันอันตรายได้เพียงพอ ควรใช้ลวดขนาดโตกว่า และช่องตะแกรงเล็กกว่ากำหนด
- ต้องติดตั้งตะแกรงด้านข้างทางเดินบนนั่งร้านหรือติดตั้งตลอดแนว

ราวกั้นมาตรฐาน

- ราวกั้นหรือรั้วกันตก ประกอบด้วย ราวอันบน, ราวอันกลาง, และเสาลูกตั้ง
- มีความสูงแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 90 ซม. และไม่เกิน 1.10 เมตร ราวกลางต้องอยู่กึ่งกลาง
- ต้องสร้างให้อยู่ในลักษณะมั่นคงแข็งแรง โดยใช้ไม้ ท่อเหล็ก เหล็กฉาก หรือเหล็กรูปอื่น
- เสาหรือลูกตั้งห่างไม่เกิน 2.40 เมตร จากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง

มาตรฐานจากสถาบันความปลอดภัยของอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration : OSHA)

ใช้ระบบป้องกันการตกเมื่อทำงานในที่สูงตั้งแต่ 6 ฟุต (1.8 เมตร) ขึ้นไป มีเครื่องมือ 3 แบบ สรุปได้ดังนี้

1) **ระบบราวกันตก** (Guardrail Systems)

- ความสูงของขอบราวกันตกด้านบนต้องมีความสูงอยู่ในช่วง 39-45 นิ้ว (97.5 – 112.5 ซม.) วัดจากระดับที่ทำงาน ซึ่งถ้าทำงานบนของต่อค้ำระดับ ก็ต้องวัดเพิ่มระดับความสูงของราวตรงส่วนที่สูงขึ้นนั้นด้วย

- ราวอันกลาง ตะแกรง ตาข่าย หรือส่วนประกอบทางแนวดิ่ง ต้องติดตั้งระหว่างราวอันบนและระดับที่ทำงานที่ไม่มีกำแพงหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นเป็นความกว้างอย่างน้อย 21 นิ้ว (52.5 ซม.)

- ราวอันกลางต้องอยู่ในระดับกึ่งกลางระหว่างราวกันตกด้านบนและระดับพื้นที่ทำงาน
- ตะแกรงและตาข่ายควรขึงจากราวบนถึงระดับพื้นทำงานตลอดแนวระหว่างเสาค้ำราว
- ลูกกรงต้องห่างกันไม่เกิน 19 นิ้ว (47.5 ซม.)
- โครงสร้างอื่นๆ เช่น ราวกลางเสริม ต้องไม่เปิดช่องกว้างมากกว่า 19 นิ้ว (47.5 ซม.)

- ราวกันตกต้องทนต่อแรงต้านทานอย่างน้อย 200 ปอนด์ โดยไม่ให้ราวบนเคลื่อนเกินกว่า 2 นิ้วในทุกทิศทางตลอดแนวราว โดยไม่ทำให้ระดับราวกันตกด้านบนต่ำกว่า 39 นิ้ว (97.5 ซม.)

- ราวกลาง และอื่นๆ ต้องทนต่อแรงต้านทานอย่างน้อย 150 ปอนด์ในทุกทิศทาง
- ระบบราวกันตกต้องไม่มีผิวขรุขระหรือฟันปลาที่ทำให้เสื้อผ้าโดนเกี่ยวหรือทำให้ฉีกขาดได้
- ราวบนและราวกลางต้องไม่เป็นสาเหตุของอันตรายโดยการแขวนป้ายเตือน

ภาพที่ ช.1 ระบบราวกันตก (Guardrail Systems)

2) **ระบบตาข่ายนิรภัย** (Safety Net Systems)

- ตาข่ายนิรภัยควรติดตั้งด้านล่างที่ทำงานให้ใกล้สุดเท่าที่จะทำงานได้ แต่ไม่ควรจะต่ำกว่า 30 ฟุต
- เมื่อตาข่ายใช้ในงานสะพาน บริเวณที่อาจตกได้ต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง
- ตาข่ายนิรภัยต้องยื่นออกไปจากขอบนอกสุดของพื้นที่ทำงานดังนี้

ระยะทางแนวดิ่งจากระดับที่ทำงานถึงระดับของตาข่าย	ระยะทางแนวราบระหว่างขอบตาข่ายถึงขอบพื้นที่ทำงานน้อยสุดที่ยอมรับได้
0-5 ฟุต	8 ฟุต
5-10 ฟุต	10 ฟุต
มากกว่า 10 ฟุต	13 ฟุต

- ตาข่ายนิรภัยต้องสามารถกันไม่ให้กระแทกกับพื้นผิวหรือโครงสร้างด้านล่างได้
- ตาข่ายนิรภัยและการติดตั้งต้องสามารถรับแรงกระทบได้เท่ากับการทดสอบการตกบนตาข่ายนั้น
- ตาข่ายนิรภัยและการติดตั้งต้องผ่านการทดสอบการตกในสถานที่ทำงานจริง
  - หลังจากการติดตั้งครั้งแรกและก่อนใช้งาน

- เมื่อเคลื่อนย้ายใหม่
- หลังจากการซ่อมแซม
- ในช่วง 6 เดือนถ้าติดตั้งทิ้งไว้นาน

- ขนาดช่องตาข่ายต้องไม่เกิน 6 x 6 นิ้ว และต้องกันการขยายขนาดไม่ให้ช่องใหญ่กว่านี้
- ช่วงรอยต่อของตาข่ายต้องไม่กว้างกว่า 6 นิ้ว

ภาพที่ ช.2 ระบบตาข่ายนิรภัย (Safety Net Systems)

3) **ระบบกันการตกส่วนบุคคล** (Personal Fall Arrest Systems)

- ต้องเอาอุปกรณ์ออกทันทีเมื่อผ่านการตกจริงจนกว่าจะตรวจสภาพใหม่ว่ายังใช้งานได้
- ไม่ควรยึดอุปกรณ์กันตกส่วนบุคคลกับราวกันตกหรือชักรอก

ภาพที่ ช.3 ระบบกันการตกส่วนบุคคล (Personal Fall Arrest Systems)

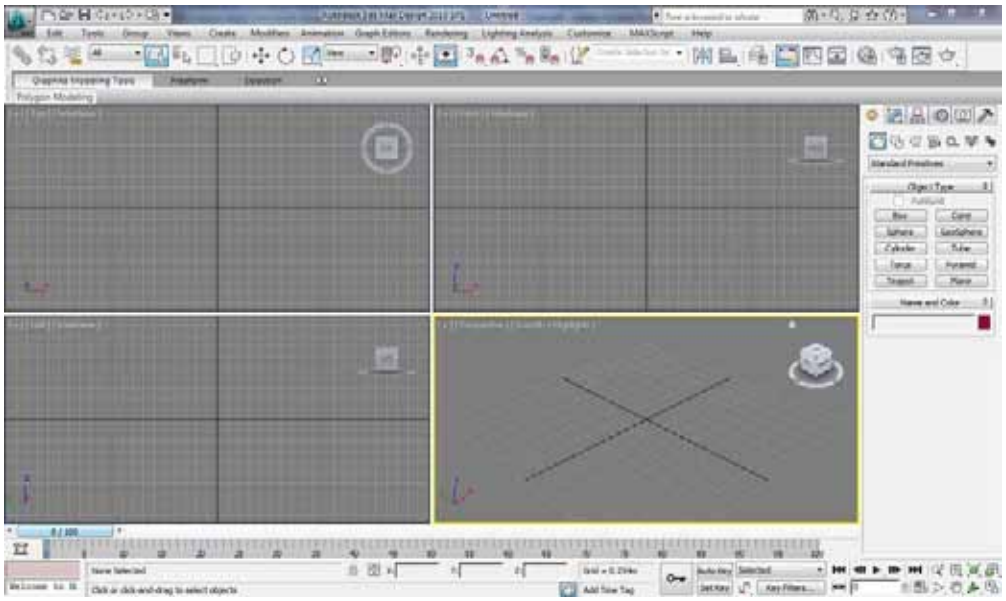
ภาคผนวก ซ

ตัวอย่างขั้นตอนการสร้างโมเดลสามมิติ

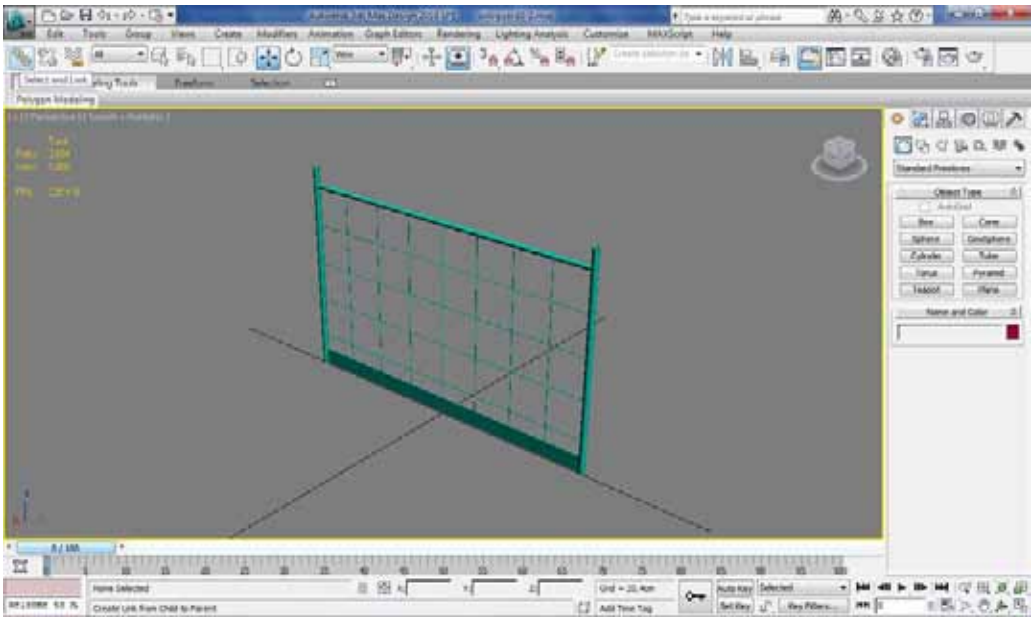
ด้วยโปรแกรม 3D Studio Max 2010

รายละเอียดขั้นตอนการสร้างโมเดล

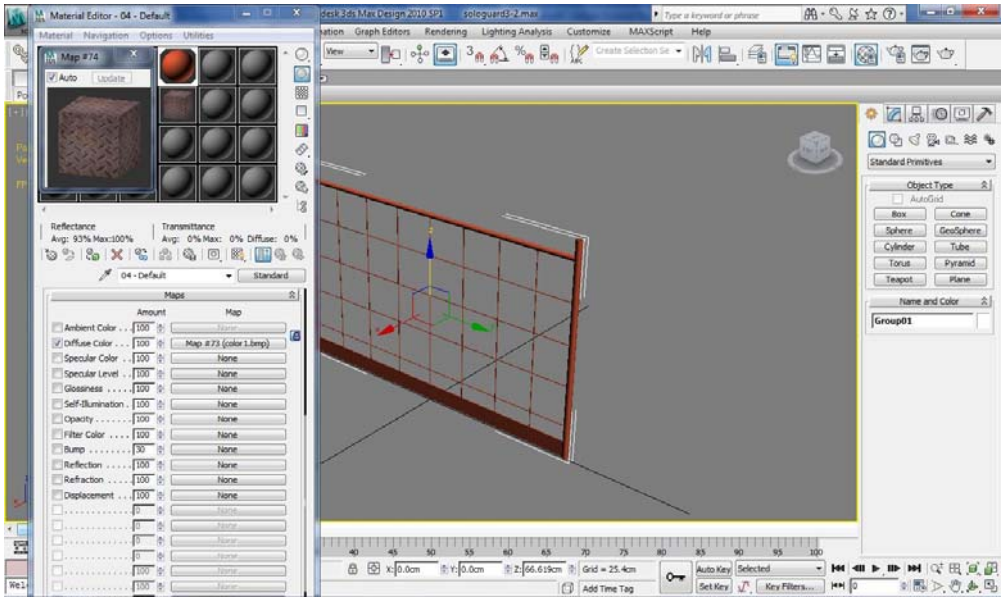
การสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม 3D Studio Max 2010 นั้น หลังจากได้ลงโปรแกรมแล้ว เมื่อเปิดโปรแกรม จะพบกับหน้าจอดังภาพ



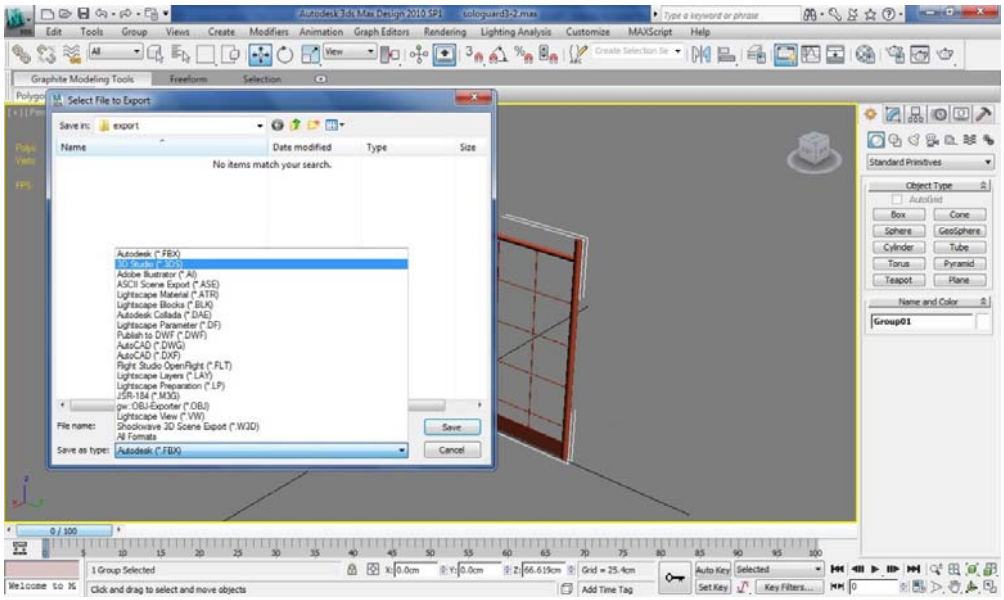
ขั้นตอนที่ 1 คือการขึ้นรูปโมเดลด้วยเครื่องมือต่างๆ จนได้ตามต้องการดังภาพ (สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือ เอกสาร หรือคู่มือการเรียนการสอนวิธีการใช้งานโปรแกรม 3D Studio Max ทั่วไป)



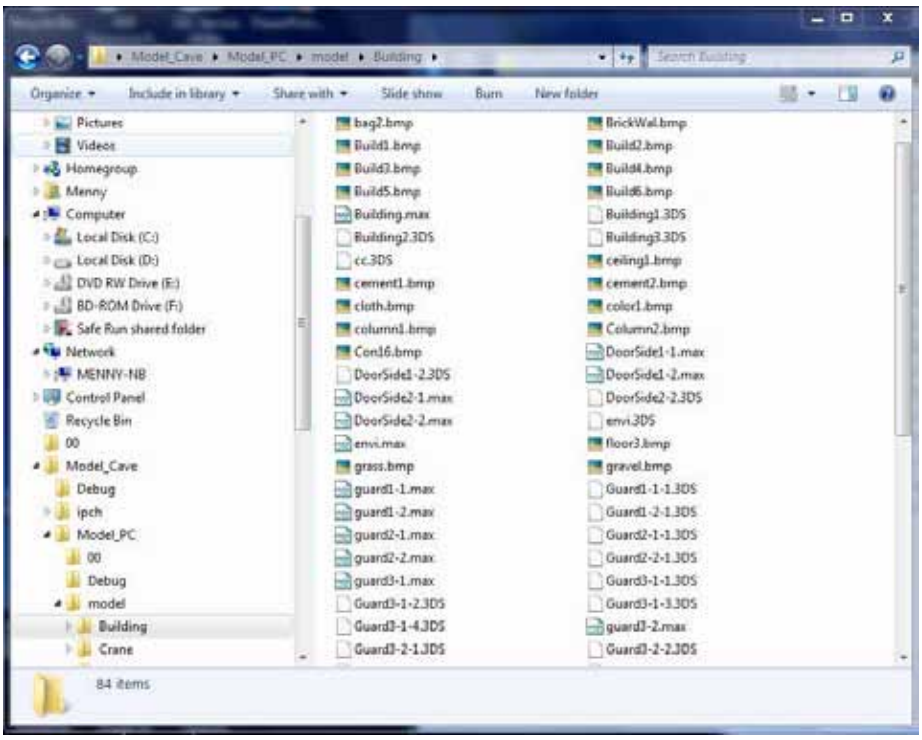
ขั้นตอนที่ 2 คือการทำรูปภาพมาติดเข้ากับตัวโมเดลโดยใช้ฟังก์ชั่น Material Editor ดังภาพ ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Texture Mapping ซึ่งการใช้วิธีนี้แทนการสร้างพื้นผิวของโมเดลโดยตรง เป็นการลดเวลาการประมวลผลภาพของคอมพิวเตอร์ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการสร้างโมเดลที่มีจำนวนมาก



ขั้นตอนที่ 3 หลังจากขึ้นรูปโมเดลและติดรูปภาพแล้วเสร็จ จึงทำการบันทึกแฟ้มงานตามปกติ และทำการนำออกข้อมูล (Export Data) ให้เป็นแฟ้มงานนามสกุล 3DS ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมต่อไป ดังภาพ



ขั้นตอนสุดท้าย เมื่อถึงเวลานำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม ต้องบันทึกไฟล์งานทั้งหมดไว้ในโฟลเดอร์เดียวกัน ในที่นี้ใช้ชื่อโฟลเดอร์ว่า “model” และในส่วนของภาพที่นำมาใช้แปะต้องบันทึกเก็บไว้ในโฟลเดอร์เดียวกับแฟ้มงานนามสกุล 3DS ดังภาพ



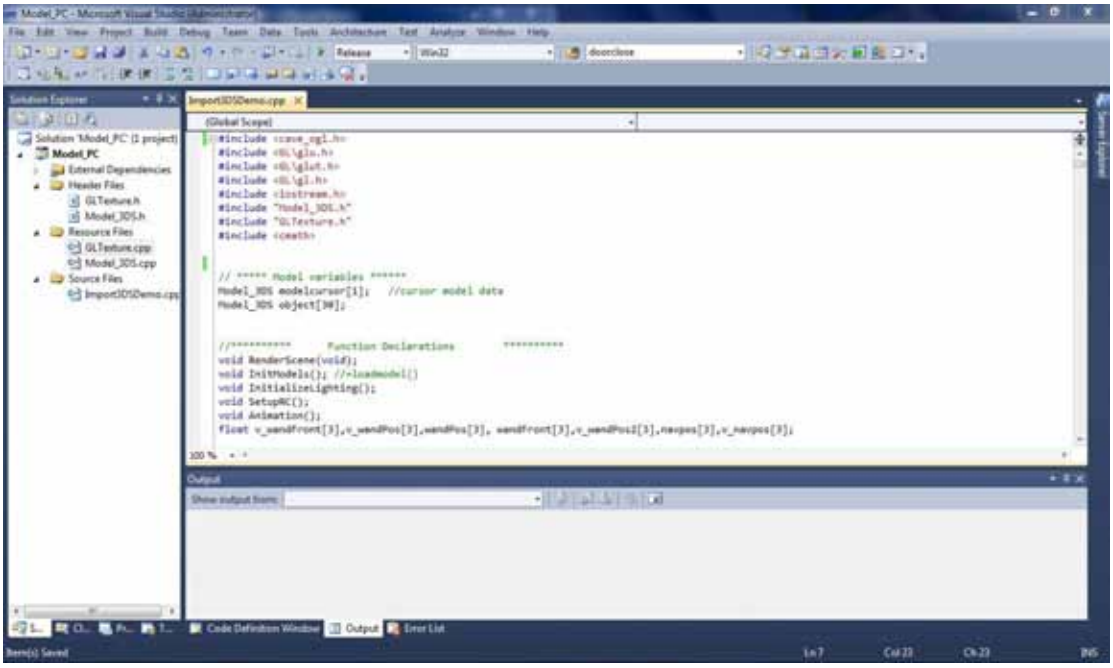
ภาคผนวก ฌ

ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองสถานที่ก่อสร้าง

บนเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE)

การอธิบายส่วนต่าง ๆ ของการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองสถานที่ก่อสร้างบนเครื่องจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (CAVE)

เมื่อเปิดโปรแกรมด้วย Microsoft Visual Studio 2010 ภาษา C++ ขึ้นมาจะพบกับหน้าจอดังภาพ



ใน Folder ของชิ้นงานประกอบไปด้วยไฟล์ต่างๆ นอกเหนือจากไฟล์ของ Visual Studio จำนวน 5 ไฟล์ ดังนี้

1. GLTexture.h
2. Model_3DS.h
3. GLTexture.cpp
4. Model_3DS.cpp
5. Import3DSDemo.cpp

ไฟล์ที่ 1-4 เป็นไฟล์ประกอบที่มีไว้เพื่อเรียกใช้งานสำหรับนำเข้าไฟล์ประเภท .3DS ที่สร้างจาก 3D Studio Max 2010 เรียกใช้โดยไฟล์ที่ 5 ซึ่งเป็นส่วนหลักของโปรแกรม ดังนั้นขั้นต่อไปจะเป็นการอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของไฟล์ที่ 5 ที่ชื่อว่า “Import3DSDemo.cpp”

ส่วนที่ 1 คือการเรียกใช้งานไฟล์ต่างๆ ในโปรแกรม

```
#include <cave_ogl.h>
#include <GL\glu.h>
#include <GL\glut.h>
#include <GL\gl.h>
#include <iostream.h>
#include "Model_3DS.h"
#include "GLTexture.h"
#include <cmath>
```

ส่วนที่ 2 เป็นการประกาศตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรมนี้

```
// ***** Model variables ******
Model_3DS modelcursor[1];   //cursor model data
Model_3DS object[30];

//**********      Function Declarations       **********
void RenderScene(void);
void InitModels(); //*loadmodel()
void InitializeLighting();
void SetupRC();
void Animation();
float v_wandFront[3],v_wandPos[3],wandPos[3], wandFront[3],v_wandPos2[3],navpos[3],v_navpos[3];

//############## ANIMATION DECLAIRATION ##################
void lift();
void liftcon();
void door();
void guard();
int numliftcon=1,column=0,guardrail=1,tall=160;
int Ax,Bx,Cx,Dx,Az,Bz,Cz,Dz,Mx,Mz;
bool keyliftup,keyliftkatook,keyopen,keyopen2,keyclose,crane,keycursor,liftrot,keylock,keylockx,keylockz;
bool keyupopen;
float movelift,dooropen,cranerot,rotliftcon=-45.0;
float x,y,anglecum,fallzeta,katook;
float cumt=0;
float rotwoodx,rotwoody,rotwoodz;
float walkup,sumup;
```

ส่วนที่ 3 ฟังก์ชั่นหลักของ CAVE ที่จะทำงานก่อนส่วนอื่นเมื่อเริ่มโปรแกรม

```
//**********      MAIN     **********
int main(int argc,char **argv){
    CAVEConfigure(&argc,argv,NULL);
    CAVEInitApplication(init_gl,0);
    CAVEDisplay(draw,0);
    CAVEFrameFunction(frameUpdate,0);
    CAVEInit();
    while (!CAVEgetbutton(CAVE_ESCKEY)){
        CAVEUSleep(10);
    }
    CAVEExit();
    return 0;
}
```

ส่วนที่ 4 หลังจากฟังก์ชั่นหลัก โปรแกรมจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรมตามฟังก์ชั่น

```
//********** cave function decaration **********
void init_gl(void);
void draw(void);
void frameUpdate(void);
void navigate(void);
void init_gl(void) {
float Material[] = { 0.6f, 0.6f, 0.6f, 1 };
  glEnable(GL_LIGHT0);
  glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_DIFFUSE, Material);
  InitModels();
  SetupRC();
  CAVEFar = 10000;
}
void SetupRC(){
    glShadeModel(GL_SMOOTH);
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);     // Hidden surface removal
    glFrontFace(GL_CCW);         // Counter clock-wise polygons face out
    glEnable(GL_CULL_FACE);      // Do not calculate inside of objects
    InitializeLighting();
    glClearColor(0.3, 0.3, 0.3, 1.0); //redundant call for clarity
}
void InitModels() {
    object[0].Load("./model/Building/envi.3DS");
    object[1].Load("./model/Building/Building1.3DS");
    object[2].Load("./model/Building/Building2.3DS");
    object[3].Load("./model/Building/Building3.3DS");
    object[4].Load("./model/View/View.3DS");
    object[5].Load("./model/Building/protect.3DS");
    object[6].Load("./model/Lift/Lift.3DS");
    object[7].Load("./model/Lift/Base.3DS");
    object[8].Load("./model/Lift/Door.3DS");
    object[10].Load("./model/Scaffold/4sc.3DS");
    object[12].Load("./model/Building/Guard1-1-1.3DS");
    object[13].Load("./model/Building/Guard1-2-1.3DS");
    object[14].Load("./model/Building/Guard2-1-1.3DS");
    object[15].Load("./model/Building/Guard2-2-1.3DS");
    object[16].Load("./model/Building/Guard3-1-1.3DS");
    object[17].Load("./model/Building/Guard3-1-2.3DS");
    object[18].Load("./model/Building/Guard3-1-3.3DS");
    object[19].Load("./model/Building/Guard3-1-4.3DS");
    object[20].Load("./model/Building/Guard3-2-1.3DS");
    object[21].Load("./model/Building/Guard3-2-2.3DS");
    object[22].Load("./model/Building/Guard3-2-3.3DS");
    object[23].Load("./model/Building/Guard3-2-4.3DS");

    modelcursor[0].Load("./model/cursor2.3DS");

}
```

```
void draw(void) {
    CAVEGetPosition(CAVE_WAND,wandPos);
    CAVEGetVector(CAVE_WAND_FRONT,wandFront);
    glClearColor(0., 0., 0., 0.);
    glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT|GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glEnable(GL_LIGHTING);
    glPushMatrix();
    CAVEWandTransform();
    glPopMatrix();
    glPushMatrix();
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
    glPolygonMode(GL_BACK,GL_FILL);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
    DrawCursor();
        CAVENavTransform();
        checkAuto();
        glPushMatrix();
                glPushMatrix();
                DrawModel();
                glPopMatrix();
        glPopMatrix();
    glFlush();
    glPopMatrix();
    glDisable(GL_LIGHTING);
}
```

```
void InitializeLighting() {
    // ***** Lighting Variables *****
    GLfloat specularColor[3] = {1.0f, 1.0f, 1.0f};
    GLfloat shine = 100.0f;
    GLfloat center_lightposition[] = {0.0, 0.0, 0.0, 1.0f};
    GLfloat extra_lightposition[] = {50.0, 50.0, 50.0, 1.0f};

    float ambience[4] = {0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0};
    float diffuse[4] = {0.9f, 0.9f, 0.9f, 1.0};
    glLightfv( GL_LIGHT0, GL_AMBIENT,  ambience );
    glLightfv( GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE,  diffuse );
    glLightfv( GL_LIGHT0, GL_POSITION, center_lightposition);
    glLightfv( GL_LIGHT1, GL_POSITION, extra_lightposition);
    glEnable(  GL_LIGHT0   );
    glEnable(  GL_LIGHT1   );
    glEnable(  GL_LIGHTING );
    glEnable(GL_COLOR_MATERIAL);
    glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_SPECULAR, specularColor);
    glMaterialfv(GL_FRONT_AND_BACK, GL_SHININESS, &shine);
}
```

ส่วนที่ 5 หลังจากการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ฟังก์ชั่นหลักของโปรแกรมจะทำการเรียกใช้ฟังก์ชั่นเพื่อควบคุมภาพ โดยฟังก์ชั่น navigate() มีหน้าที่ทำการติดต่อระหว่าง input device เช่นเครื่องระบุตำแหน่งของศีรษะผู้ใช้งาน และ wanda ที่มีไว้สำหรับควบคุม และ output device ซึ่งก็คือจอภาพนั่นเอง

```
void frameUpdate(){
  if(CAVEMasterDisplay()){
      navigate();
  }
  CAVEDisplayBarrier();
}
void navigate(void){
    float jx,jy,dt,t,SPEED=50;
    static float prevtime =0;
    /* ... */
    if(CAVEMasterDisplay()) {
        jx=CAVE_JOYSTICK_X;
        jy=CAVE_JOYSTICK_Y;
        t = (float)CAVEGetTime();
        dt = t - prevtime;
        prevtime = t;
        if (!(keylockx && keylockz)) {
            if (keylockx) {
                if (fabs(jy)>0.2) {
                CAVEGetVector(CAVE_WAND_FRONT_NAV,wandFront);
                CAVENavWorldTranslate(0.0,
                    0.0,
                    wandFront[2]*jy*SPEED*dt);
                }
            }
            if (keylockz) {
                if (fabs(jy)>0.2) {
                CAVEGetVector(CAVE_WAND_FRONT_NAV,wandFront);
                CAVENavWorldTranslate(wandFront[0]*jy*SPEED*dt,
                    0.0,
                    0.0);
                }
            }
        }
```

```
        if (!(keylockx || keylockz) && !keylock) {
            if (fabs(jy)>0.2) {
                CAVEGetVector(CAVE_WAND_FRONT_NAV,wandFront);
                CAVENavWorldTranslate(wandFront[0]*jy*SPEED*dt,
                    0.0,
                    wandFront[2]*jy*SPEED*dt);
            }
        }
        if (fabs(jx)>0.4) {
                CAVENavRot(-jx*30.0f*dt,'y');
            }
        if(liftrot) {
            CAVENavRot(30.0f*dt,'y');
            anglecum=anglecum+30.0f*dt;
            if(anglecum>=180.0) {liftrot=false;}
        }

        if ((walkup > sumup) && (keyupopen)) {
            CAVENavTranslate(0.0,30*dt,0.0);
            sumup=sumup+30*dt;
        }
        if ((walkup < sumup) && (keyupopen)) {
            CAVENavTranslate(0.0,-30*dt,0.0);
            sumup=sumup-30*dt;
        }
    }
    ///************** Change Model Control*******
    if(CAVEButtonChange(2) == 1){
        CAVENavWorldTranslate(-v_wandPos[0],-v_wandPos[1],-v_wandPos[2]);
        movelift = 0;
        keyclose = true;
        walkup = 0;
        sumup = 0;
    }
    if(CAVEButtonChange(3) == 1){
        guardrail += 1;
        if (guardrail == 7) {
            guardrail = 1;
        }
    }
}//exit navigation
```

ส่วนที่ 6 เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผล เช่น การแสดงผลของโมเดลสิ่งปลูกสร้าง การจัดวางตำแหน่งของวัตถุ การเรียกใช้งานคำสั่งควบคุมการเคลื่อนไหวของวัตถุ เป็นต้น

```
//**********  Drawing Function Implementations    **********
void DrawModel() {
glPushMatrix();//main
    glTranslatef(623,-((tall-10)*100/254-35),-334);
    object[0].Draw();   //envi.3DS
    object[1].Draw();   //Building1.3DS
    object[2].Draw();   //Building2.3DS
    object[3].Draw();   //Building3.3DS
    object[4].Draw();   //View.3DS
    object[5].Draw();   //protect.3DS
    object[7].Draw();   //base.3DS
    guard();    //guard
    glPushMatrix();
        glTranslatef(0.0,790.0,0.0);
        object[10].Draw();
    glPopMatrix();
    glPushMatrix();
    lift();
    glTranslatef(0.0,movelift,0.0);
    object[6].Draw();//Lift.3DS
        glPushMatrix();
        door();
        glTranslatef(-44.937,21.969,0.0);
        glRotatef(dooropen,0.0,0.0,1.0);
        object[8].Draw();//Door.3DS
        glPopMatrix();

        glPushMatrix();
        glTranslatef(-20.937,21.969,0.0);
        glRotated(rotliftcon,0.0,0.0,1.0);
        object[11].Draw(); //Doorcon.3DS
        glPopMatrix();
    glPopMatrix();
glPopMatrix();//end main
}
```

```
void guard()
{
    switch (guardrail)
    {
        case 1 :
            object[12].Draw();

        break;
        case 2 :
            object[13].Draw();

        break;
        case 3 :
            object[14].Draw();

        break;
        case 4 :
            object[15].Draw();

        break;
        case 5 :
            object[16].Draw();
            object[17].Draw();
            object[18].Draw();
            object[19].Draw();
        break;
        case 6 :
            object[20].Draw();
            object[21].Draw();
            object[22].Draw();
            object[23].Draw();
        break;
    }
}
void lift() {
    if (keyliftup) {
    rotliftcon = rotliftcon+2.0;
        if (rotliftcon == 29.0) {
            keyliftkatook=true;
        }
        if (rotliftcon >= 30.0) {
            rotliftcon=30.0;
            movelift = movelift + 3;
            CAVENavWorldTranslate(0.0,3.0,0.0);
            if (movelift >= 1348.0) {
                keyliftup = false;
                keyliftkatook = true;
                movelift=1348.0;
                keyopen2=true;
                keylock=false;
            }
        }
    }

    if ((keyliftkatook) && (katook < 10.0)){
        CAVENavTranslate(0.0,2,0.0);
        katook+=2;
    }
    else    if ((keyliftkatook) && (katook >= 10.0)) {
                CAVENavTranslate(0.0,-10,0.0);
                keyliftkatook=false;
    }
}
```

ส่วนที่ 7 เป็นฟังก์ชั่นที่มีชื่อว่า checkAuto() ที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นมาเพื่อทำการควบคุมตำแหน่งของผู้ใช้ในขณะเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เช่น เมื่อผู้ใช้เดินขึ้นบันได ฟังก์ชั่นนี้ก็จะทำหน้าที่ให้แสดงผลภาพเสมือนเคลื่อนที่ขึ้นตามบันไดจริง หรือเดินไปชนกับรั้วหรือเสาทำให้ทะลุผ่านไม่ได้

```
void checkAuto() {
    CAVENavConvertCAVEToWorld(wandPos,v_wandPos);
    float x=v_wandPos[0];
    float y1,y2,y3,y4;
    keylock = false;
    keylockx = false;
    keylockz = false;
    ////////// Door open Control /////////////////
    if (v_wandPos[0]>=327 && v_wandPos[0]<=527) {
        if (v_wandPos[1]>=0 && v_wandPos[1]<=180) {
            if (v_wandPos[2]>=(-433) && v_wandPos[2]<=(-233)) {
                keyopen=true;
            }
        }
    }
    if (v_wandPos[0]>=327 && v_wandPos[0]<=650) {
        if (v_wandPos[1]>=0 && v_wandPos[1]<=180) {
            if (v_wandPos[2]>=(-320) && v_wandPos[2]<=(-290)) {
                keylock=true;
                CAVENavWorldTranslate(1.5, 0.0, 0.0);
            }
        }
    }
    ////////// Lift Up Control /////////////////
    if (v_wandPos[0]>=(615) && v_wandPos[0]<=(675)) {
        if (v_wandPos[1]>=0 && v_wandPos[1]<=180) {
            if (v_wandPos[2]>=(-355) && v_wandPos[2]<=(-265)) {
                keylock=true;
                liftrot=true;
                keyliftup=true;
                keyclose=true;
            }
        }
    }
```

```
if (v_wandPos[1]>=1350 && v_wandPos[1]<=1380 && !keyliftup) {


    //guard G1
    if (v_wandPos[2]>=(-222)) {
        keylockz=true;
        CAVENavWorldTranslate(0.0, 0.0, -0.2);
    }

    //guard G2-G3
    if (v_wandPos[2]>=(-443) && v_wandPos[2]<=(-35) && v_wandPos[0]>=(514) && v_wandPos[
        if ((v_wandPos[0]-514)>=(443+v_wandPos[2])) {
            keylockz=true;
            CAVENavWorldTranslate(0.0, 0.0, -0.2);
        }
        else{
            keylockx=true;
            CAVENavWorldTranslate(-0.2, 0.0, 0.0);
        }
    }

    //guard G4
    if (v_wandPos[0]>=(711)) {
        keylockx=true;
        CAVENavWorldTranslate(-0.2, 0.0, 0.0);
    }
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพีชณัฐ วีรเวทวัฒน์ เกิดวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551