

การพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองสำหรับการวางแผน
การอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า

วัฒนา จันทะโคตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



DEVELOPMENT OF SIMULATION-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR
FIRE EVACUATION PLANNING IN HOME-APPLIANCE FACTORY

WATTANA CHANTHAKHOT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กสิณ รังสิกรรพุม อาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด คำกระตุ้นเตือน ให้กำลังใจ และประสบการณ์ในการทำวิจัย ตลอดทั้งสละเวลาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการนำไปพัฒนาศักยภาพของผู้วิจัยให้สูงขึ้น และขอขอบคุณ นักวิชาการศึกษา รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง นิสิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับมิตรภาพ และความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดช่วงเวลา ที่ทำการศึกษา ณ มหาวิทยาลัยอันทรกเกียรติแห่งนี้ ขอกราบแทบเท้าขอบพระคุณ คุณแม่ สำหรับ กำลังใจและความรัก ความปรารถนาดีที่มีต่อลูกเสมอมา ขอขอบคุณ ลุง ป้า น้า อา ตลอดทั้งครอบครัว “จันทะโคตร” ทุกคน และขอบคุณไปยังพี่น้องและผองเพื่อน และบุคคลที่รัก ห่วงใยและปรารถนาดี ต่อกันทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตเวทิตาแด่บุพการี บุรพคณาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

วัฒนา จันทะโคตร

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลอง สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า

ผู้วิจัย : วัฒนา จันทะโคตร

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กสิณ รังสิกรรพุม

คำสำคัญ : ระบบช่วยตัดสินใจ, การจำลองโมเดลแบบพฤติกรรมของตัวแทน, การจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย, ประสิทธิภาพการจัดการ, การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาและพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจ (DSS) สำหรับการจัดการเหตุฉุกเฉินโดยพิจารณาปัญหาการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยเป็นการบูรณาการระหว่าง 1) เครื่องมือการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDM) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการทางด้านอค์คิภัยในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ร่วมกับเทคนิคน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) และเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) เพื่อวิเคราะห์หาจุดรวมพลอพยพหนีไฟที่เหมาะสม 2) เครื่องมือในการจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย (FDS) เพื่อจำลองลักษณะการเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรม Pyrosim และ 3) เครื่องมือการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบศึกษาพฤติกรรมของตัวแทน (ABS) เพื่อทำการจำลองการอพยพของคนที่หนีไฟ โดยใช้โปรแกรม Pathfinder ทั้งนี้ผลการศึกษา เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากจากอิทธิพลของควันไฟและการมองเห็นต่อพฤติกรรมของผู้อพยพ โดยได้กำหนดปัจจัยจากลักษณะของอาคาร (Building Characteristics) จากกรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกับลักษณะของผู้อพยพ (Agent Characteristics) โดยใช้ปัจจัยทางด้าน 1) ความสามารถในการรับรู้การเกิดไฟไหม้ 2) ความพิการทางร่างกายของผู้อพยพ 3) ความกว้างของประตูหนีไฟ 4) ตำแหน่งการเกิดไฟไหม้ และ 5) ความหนาแน่นของผู้อพยพ โดยใช้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าในจังหวัด ฉะเชิงเทรา ประเทศไทย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการกำหนดนโยบายและควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระยะเวลาโดยเฉลี่ยในการอพยพของผู้อพยพทุกคน (Average completion time for all occupants) ระยะเวลาในการอพยพทั้งหมดโดยพิจารณาจากผู้อพยพคนสุดท้าย (Total evacuation time) และจำนวนผู้อพยพที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงเวลาในระดับที่แตกต่างกัน โดยผลการวิจัยในงานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้กับการวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ และการกำหนดนโยบายที่เหมาะสมได้ต่อไป

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF SIMULATION-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM
FOR FIRE EVACUATION PLANNING IN HOME-APPLIANCE FACTORY

AUTHOR : WATTANA CHANTHAKHOT

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. KASIN RANSIKARBUM, Ph.D.

KEYWORDS : DECISION SUPPORT SYSTEM, AGENT-BASED SIMULATION,
FIRE- DYNAMICS SIMULATION, EFFICIENCY MANAGEMENT,
DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

This dissertation aims to analyze and develop a Decision Support System (DSS) for an emergency planning during the fire evacuation planning. The methodologies utilized in this study are integrated 1) Multi-Criteria Decision Making (MCDM) tool based on Data Envelopment Analysis (DEA) technique to assess the efficiency of fire management of each industry group as well as Information Entropy Weight (IEW) technique and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) to analyze suitable fire assembly point; 2) Fire Dynamics Simulation (FDS) tool to simulate the characteristics of fire using PyroSim program; and 3) Agent-Based Simulation (ABS) tool to simulate the behavior of agents during evacuation using Pathfinder program. Next, the effects from smoke and visibility on evacuee behavior are analyzed by determining factors related to the building characteristics and agent characteristics. In particular, factors related to 1) Fire perception, 2) Physical disability, 3) Width of escape door, 4) Fire location, and 5) Density of evacuee are investigated using a case study of a home-appliance factory in Chachoengsao Province, Thailand. The results show how determining proper emergency-planning policies affects the average completion time for all occupants, the total evacuation time, and the number of remaining evacuees in each time period. It is expected that recommendations from this study can be further used for related emergency planning and policy evaluation.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ IEW และ TOPSIS	12
2.3 แนวคิดและหลักการของการจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย	13
2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการจำลองการอพยพของโปรแกรม Pathfinder	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพและการจำลองการอพยพด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเครื่องมือ MCDM มาผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟและแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน	27
2.7 สรุปประเด็นที่ได้จากการศึกษาที่จะใช้ในงานวิจัย	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	
3.1 การออกแบบการวิจัยพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม	35
3.2 การวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล	36
3.3 การวิเคราะห์จุดรวมพลอพยพหนีไฟโดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS	38
3.4 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย	41
3.5 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพ	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 กรณีศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอค์ศึภยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล	
4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	50
4.2 ผลการศึกษา	53
4.3 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการจัดการด้านอค์ศึภย ปี 2556 - 2558	56
บทที่ 5 กรณีศึกษาการบูรณาการเครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟ และแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน	
5.1 ที่มาและความสำคัญของกรณีศึกษา	58
5.2 กรณีศึกษา	59
5.3 การออกแบบการทดลอง	61
5.4 การวิเคราะห์เลือกจุดรวมพลหนีไฟที่เหมาะสมด้วยค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีและเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ	64
5.5 ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	70
5.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	80
5.7 ผลการวิเคราะห์เชิงนโยบายของการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล	82
บทที่ 6 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา	
6.1 สรุปและอภิปรายผลประสิทธิภาพการจัดการอค์ศึภยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล	84
6.2 สรุปผลการดำเนินการศึกษาการบูรณาการเครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟ และแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน	84
6.3 บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	85
6.4 ข้อเสนอแนะและทิศทางการวิจัยในอนาคต	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก	
ก บทความวิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอค์ศึภยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล	99
ข บทความวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์จุดรวมพลหนีไฟด้วยวิธีค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีและเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ	113
ประวัติผู้วิจัย	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ข้อมูลรายงานสถิติไฟไหม้จากประเทศต่าง ๆ	3
1.2	สาเหตุของการสูญเสียโดยคิดจากมูลค่ารวมของการเรียกร้องเงินประกันภัย	4
2.1	ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในการประเมินประสิทธิภาพของแผนการอพยพ	11
2.2	ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในกรณีอพยพจากเฮอริเคนของแต่ละเมือง	11
2.3	คุณสมบัติของผู้อพยพ	16
2.4	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพ	16
2.5	เวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปล่อยความร้อน (HRR)	18
2.6	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา	30
3.1	ค่า K ในโมเดล SFPE	46
4.1	ข้อมูลปัจจัยนำเข้า ด้านการบริหารจัดการอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรม	51
4.2	ข้อมูลปัจจัยด้านปัจจัยนำออก ด้านการบริหารจัดการอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรม	51
4.3	ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอัคคีภัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2556	54
4.4	ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอัคคีภัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2557	55
4.5	ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอัคคีภัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2558	55
4.6	ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอัคคีภัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2556-2558	56
5.1	Characteristics, Factors และ Levels ของการทดลอง	63
5.2	รายละเอียดในการออกแบบการทดลองในแต่ละ Scenario	64
5.3	ทางเลือกจุดรวมพลอพยพหนีไฟ	66
5.4	ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์จุดรวมพล	67
5.5	ผลการเก็บข้อมูล	67
5.6	การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW	68
5.7	เมตริกซ์การทำการตัดสินใจโดยทำการปรับสเกล (r_{ij})	69
5.8	เมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว (v_{ij})	69
5.9	ค่า PIS และค่า NIS ของวิธี TOPSIS	69
5.10	ค่า S_i^* * ค่า S_i' และค่า C_i^*	70
5.11	การตั้งค่า Parameter ในโมเดลการอพยพ	76
5.12	ผลของเวลาการอพยพของทุก Scenario	78
5.13	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ สำหรับปัจจัยของการอพยพแต่ละปัจจัย	81
5.14	ผลการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล กรณี Fire case 1	82
5.15	ผลการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล กรณี Fire case 2	83
5.16	ผลรวมของค่าโอกาส ของการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล	83

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	สถิติการเกิดอัคคีภัยในโรงงานในไทย ปี 2550-2560	2
1.2	การเกิดอัคคีภัยจำแนกตามแหล่งกำเนิด	4
2.1	สัดส่วนของงานนำเทคนิค DEA ไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ ในไทย	10
2.2	ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในการประเมินประสิทธิภาพการจัดการความปลอดภัย โครงการก่อสร้าง	10
2.3	กรอบการประเมินความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว (TDC)	12
2.4	แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างในโปรแกรม Pathfinder	14
2.5	แบบ navigation mesh	14
2.6	ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้อพยพในโปรแกรม Pathfinder	15
2.7	องค์ประกอบของเวลาในการอพยพหนีไฟ (Required Safe Egress Time: RSET)	19
2.8	ลำดับขั้นของโมเดล (SEBES)	20
2.9	ตัวอย่างการอพยพหนีไฟในคลังสินค้า	21
2.10	โมเดล ABS แสดงการทำงานร่วมกับพฤติกรรมรับรู้เพื่อทำนายการอพยพ	22
2.11	โมเดลการจำลองโดย Anylogic	23
2.12	การเคลื่อนที่ภายใต้ทัศนวิสัยที่จำกัด	25
2.13	ภาพการจำลองการอพยพจากกรณีศึกษา Victoria building	26
2.14	แผนการอพยพที่ได้จากการจำลอง	26
2.15	กรอบแนวคิดการวิจัยการผสาน ABS กับ MCDM	27
3.1	การออกแบบการวิจัยพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม	35
4.1	ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอัคคีภัย (SE) รายการกลุ่มอุตสาหกรรม เปรียบเทียบ ปี 2556-2558	57
5.1	แผนผังของกรณีศึกษา (Fire Case study layout)	60
5.2	กรอบแนวทางการศึกษา	62
5.3	แผนผังโรงงานกรณีศึกษา	66
5.4	การแพร่กระจายของควันไฟ	72
5.5	ค่า Speed Factor ที่คำนวณได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด	74
5.6	แบบจำลองการอพยพของ Agent	75
5.7	เวลาอพยพสำเร็จของผู้อพยพทุกคน (Completion time for all occupants)	77
5.8	เปรียบเทียบ Remaining total evacuation time ในแต่ละ Fire case	80

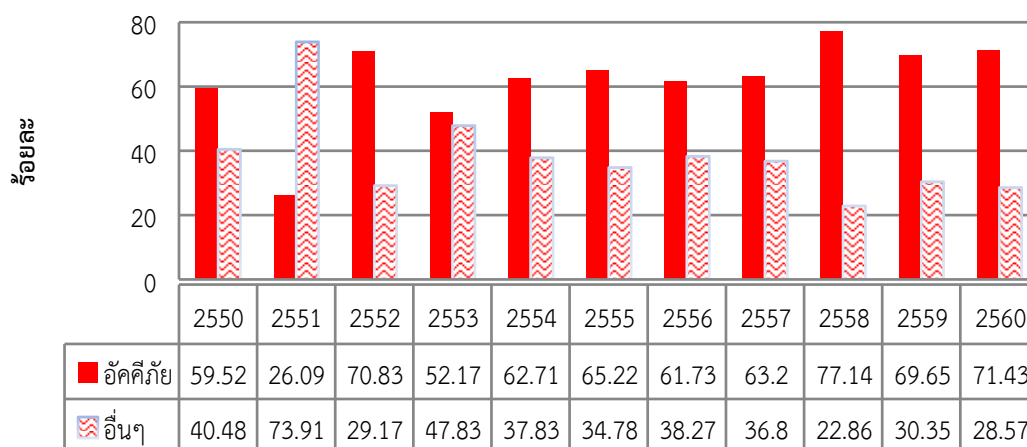
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เพลิงไหม้ ถือเป็นอุบัติเหตุร้ายแรงที่สำคัญ ที่นำมาซึ่งความสูญเสียอย่างใหญ่หลวง ทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อร่างกาย การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน จากอดีตที่ผ่านมาพบว่ามีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง สร้างความสะเทือนใจให้กับประชาชนที่ได้รับทราบข่าว ตั้งแต่ปี 2532 – 2561 พบว่ามีการเกิดอัคคีภัยขึ้นในประเทศไทยกว่า 59,387 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 2,076 คน ผู้บาดเจ็บ 5,413 คน มูลค่าความเสียหายกว่า 40,619 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2562: เว็บไซต์) จากอดีตที่ผ่านมา ประเทศไทยมีการเกิดอัคคีภัยครั้งสำคัญหลายครั้ง เช่น เหตุการณ์โรงงานผลิตตุ๊กตาเคเดอร์ไฟไหม้ เมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2536 ทำให้มีผู้เสียชีวิต 188 ราย สภาพอาคารเสียหายพังทลายทั้งหมด เหตุการณ์ไฟไหม้โรงแรมรอยัลจอมเทียนพัทยา เมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2540 มีผู้เสียชีวิต 91 ราย อาคารเกิดความเสียหายเกือบทั้งหมด เหตุการณ์เพลิงไหม้ซานติกาผ้า เมื่อวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 มีผู้เสียชีวิต 66 ราย และยังมีผู้บาดเจ็บนับร้อยราย อาคารเสียหายทั้งหมด เหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์อพยพบ้านแม่สุรินทร์ จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีผู้เสียชีวิต 45 ราย บาดเจ็บนับร้อยราย เหตุการณ์เพลิงไหม้ธนาคารไทยพาณิชย์สำนักงานใหญ่ เมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 มีผู้เสียชีวิต 1 ราย จากเหตุการณ์ไฟไหม้ที่ผ่านมาล้วนสร้างความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินอาคาร และสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐและเอกชนเริ่มตระหนักถึงความสำคัญด้านการป้องกันอัคคีภัยกันมากขึ้นและเริ่มรณรงค์ให้เกิดความปลอดภัยในการใช้อาคารต่าง ๆ และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ในประเทศจึงได้กำหนดนโยบายอย่างจริงจัง โดยเฉพาะกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น (วัฒนา จันทะโคตร และคณะ, 2561)

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2562 (ราชกิจจานุเบกษา, 2562) ให้นิยามความหมายของคำว่า “โรงงาน” หมายถึง อาคาร สถานที่ หรือยานพาหนะที่ใช้เครื่องจักรมีกำลังรวมตั้งแต่ห้าสิบลำแรงม้าหรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ห้าสิบลำแรงม้าขึ้นไป หรือใช้คนงานตั้งแต่ห้าสิบคนขึ้นไป โดยใช้เครื่องจักรหรือไม่ก็ตามเพื่อประกอบกิจการโรงงาน โรงงานอุตสาหกรรมจึงจัดเป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีกระบวนการผลิตที่มีความเสี่ยงด้วยลักษณะของงาน กระบวนการผลิตและวัสดุที่มีการจัดเก็บและรักษาไว้ในโรงงาน จากรายการสถิติการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2560 (กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2562: เว็บไซต์) พบว่าอัคคีภัย เป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับอุบัติเหตุด้านอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 สถิติการเกิดอัคคีภัยในโรงงานในไทย ปี 2550-2560

ที่มา: กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัย (2562: เว็บไซต์)

อัคคีภัยที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อชีวิตและทรัพย์สิน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม และชุมชนโดยรอบโรงงานอีกด้วย อีกทั้งอัคคีภัยเป็นภัยที่ร้ายแรงที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยมีสาเหตุที่ทำให้เกิดได้หลากหลายโดยสาเหตุการเกิดเพลิงไหม้ที่พบบ่อยในประเทศไทยคือการชำรุดบกพร่องของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร หรือเกิดจากกระทำที่ไม่ปลอดภัยของพนักงาน จากความประมาทขาดการดูแลรักษา การขาดการสำรวจตรวจตราพื้นที่การทำงาน จากกระบวนการที่ก่อให้เกิดความร้อนและประกายไฟ โดยเฉพาะกับสถานประกอบการที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยสูง เช่น โรงงานอุตสาหกรรม (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552: เว็บไซต์)

นอกจากสถิติการเกิดอัคคีภัยในประเทศไทยแล้ว เมื่อตรวจสอบข้อมูลในต่างประเทศ ก็ยังพบว่าการเกิดอัคคีภัยมีจำนวนการเกิดขึ้นจำนวนมาก เช่น เหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์การค้าในเมืองลิมา ประเทศเปรู ในเดือนธันวาคม ปี 2001 มีผู้เสียชีวิต 291 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้โรงพยาบาลในกรุงมอสโก ประเทศรัสเซีย ในเดือนธันวาคม ปี 2006 มีผู้เสียชีวิต 46 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์ดูแลผู้คน ในเมือง Hermosillo ประเทศเม็กซิโก ในเดือนมิถุนายน ปี 2009 มีผู้เสียชีวิต เหตุการณ์ไฟไหม้ในเมือง Dhaka ประเทศบังกลาเทศ ในเดือนมิถุนายน ปี 2010 ทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 117 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ตึกสูงในแคริฟอเนีย สหรัฐอเมริกา ในเดือนมิถุนายน ปี 2016 มีผู้เสียชีวิต 36 ราย และในเดือนมิถุนายน ปี 2017 เกิดเหตุไฟไหม้ตึกสูงในลอนดอน ประเทศอังกฤษ ทำให้มีผู้เสียชีวิต 17 ราย (Selain, K. and et al., 2018)

นอกจากเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งสำคัญในหลายประเทศแล้ว หน่วยงาน International Association of Fire and Rescue Services :CTIF (2019: Website) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักดับเพลิงและผู้เชี่ยวชาญด้านงานอัคคีภัยและงานกู้ภัย ตั้งขึ้นครั้งแรกที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ปัจจุบันสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่ประเทศสโลวีเนีย ได้รวบรวมสถิติไฟไหม้ ในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกระหว่าง ปี 2007-2016 ดังแสดงในตาราง ที่ 1.1

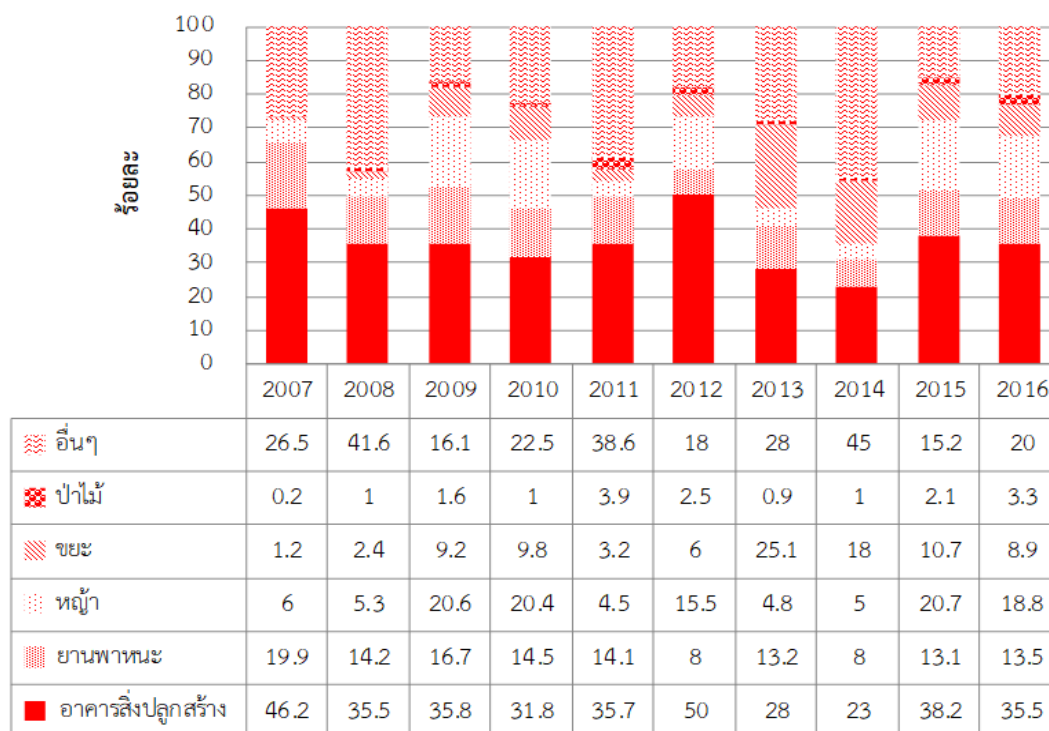
ตารางที่ 1.1 ข้อมูลรายงานสถิติไฟไหม้จากประเทศต่าง ๆ

ปี	จำนวนประเทศที่รายงาน	จำนวนครั้งไฟไหม้ (ล้านครั้ง)	จำนวนผู้เสียชีวิต (พันคน)
2007	40	3.8	52.5
2008	31	3.5	48.3
2009	31	3.4	44.1
2010	33	2.2	46.1
2011	34	2.3	48.2
2012	35	1.1	23.7
2013	31	1.1	21.7
2014	32	1.1	20.7
2015	31	1.0	18.4
2016	40	1.1	18.0

ที่มา: International Association of Fire and Rescue Services: CTIF (2019: Website)

จากเหตุการณ์ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจำนวนมากในแต่ละปี ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยหากจำแนกสถานที่หรือแหล่งกำเนิดของการเกิดเพลิงไหม้ พบว่าจะเกิดขึ้นได้หลากหลายตามลักษณะแหล่งกำเนิด โดยการเกิดเพลิงไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นสิ่งปลูกสร้าง (Structure) นอกจากนั้น เป็นเหตุการณ์ไฟไหม้ยานพาหนะ ไฟไหม้หญ้า กองขยะ ไฟไหม้ป่า และพื้นที่อื่น ๆ โดยหน่วยงาน CTIF ได้เก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดไฟไหม้จำแนกตามแหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ในช่วง ปี 2007 - 2016 ดังแสดงใน ภาพที่ 1.2

นอกจากการเกิดไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจำนวนมากแล้ว การเกิดไฟไหม้ยังสร้างความสูญเสียทางด้านทรัพย์สินมากมายให้กับภาคธุรกิจอุตสาหกรรมอีกด้วย โดยธุรกิจอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เลือกที่จะใช้การทำประกันภัยทางด้านอัคคีภัยเพื่อรองรับความเสี่ยงหากเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายงานการเรียกร้องค่าสินไหมทดแทนของบริษัท Allianz Global Corporate & Specialty: AGCS (2019: Website) บริษัทชั้นนำด้านการประกันภัยของโลก พบว่าในช่วงปี 2013-2018 กิจการกว่า 470,000 บริษัท จากกว่า 200 ประเทศ ได้มีการเรียกร้องสินไหมทดแทนบริษัทประกันภัยด้วยสาเหตุต่าง ๆ คิดเป็นมูลค่า 58.1 พันล้านยูโร หรือประมาณ 66.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยในจำนวนนี้คิดเป็นสัดส่วนการเคลมเงินประกันภัย 10 อันดับแรก พบว่ามีการเคลมเงินประกันจากการเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้/ระเบิด มากสุดถึงร้อยละ 24 ดังแสดงในตารางที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 การเกิดอัคคีภัยจำแนกตามแหล่งกำเนิด

ที่มา: International Association of Fire and Rescue Services:
CTIF (2019: Website)

ตารางที่ 1.2 สาเหตุของการสูญเสียโดยคิดจากมูลค่ารวมของการเรียกร้องเงินประกันภัย

สาเหตุ	ร้อยละ
Fire/explosion	24
Aviation collision/crash	14
Faulty workmanship/maintenance	8
Storm	7
Defective products	6
Damaged goods (including handling/storage)	5
Machinery breakdown (including engine failure)	5
Water damage	3
Ship sinking/collision	2
Professional indemnity (e.g. negligence/misadvice)	2

ที่มา: Allianz Global Corporate & Specialty (2019: Website)

จากข้อมูลที่รวบรวมมาทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ทางด้านอัคคีภัยทั้งในและต่างประเทศที่เกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับอุบัติเหตุอื่น ๆ ทั้งยังมีสาเหตุที่มักเกิดกับอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ และผลจากการเกิดไฟไหม้ยังสร้างความสูญเสียทรัพย์สินจำนวนมากต่อภาคธุรกิจอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเสียชีวิตถือเป็นการสูญเสียที่ร้ายแรงเกินกว่าที่จะประเมินค่าได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร อุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงต้องจัดให้มีการบริหารจัดการด้านการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินไฟไหม้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมการก่อนการเกิดเหตุ เช่นการสำรวจตรวจตรา การควบคุมกิจกรรมการดำเนินงานให้เป็นไปตามมาตรฐานในช่วงระหว่างที่เกิดเหตุ เช่นการดับเพลิงและการอพยพหนีไฟ และช่วงหลังเกิดเหตุเช่นการฟื้นฟูและบรรเทาทุกข์ เป็นต้น

ทั้งนี้ในแวดวงวิจัย ได้มีการดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ รวมถึงภัยพิบัติ ซึ่งได้มีการแบ่งการวางแผนการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Planning) ออกเป็น 4 ระยะ โดยระยะแรกในช่วงก่อนเกิดเหตุเป็นระยะของการเตรียมการก่อนการเกิดเหตุรวมไปถึงการลดผลกระทบจากการเกิดเหตุ (Mitigation Phase) ช่วงที่สองคือการเตรียมการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉิน (Preparedness Phase) หลังจากเหตุการณ์ภัยพิบัติผ่านไปแล้วจะเป็นระยะของการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินอย่างทันท่วงที (Response Phase) และสุดท้ายเป็นการฟื้นฟูให้สถานการณ์กลับสู่ปกติ (Recovery Phase) (McLoughlin, 1985; กลิน รัสสิกรรพุม, 2560) ซึ่งเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์การวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉินในปัจจุบัน รวมถึงวิธีการจำลองโมเดลสถานการณ์ (Simulation) และการใช้เครื่องมือขึ้นสูงทางคณิตศาสตร์ด้วย

การจำลองโมเดลสถานการณ์ (Simulation) เป็นการรวบรวม พฤติกรรมของระบบ รวมทั้งองค์ประกอบวิธีการต่าง ๆ ที่เป็นอยู่ในสถานการณ์จริง มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อที่จะทำการศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการเก็บข้อมูล เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หารูปแบบแนวทางที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ต้องการให้ดีขึ้น (Kelton, Sadowski and Sadowski, 2002) ทั้งนี้เนื่องมาจากในสถานที่ปฏิบัติงานซึ่งเป็นสถานที่ทำงานจริง ต้องสามารถทราบถึงประโยชน์ที่จะได้รับก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงใด ๆ ด้วยเหตุนี้การใช้ แบบจำลองสถานการณ์ จะช่วยให้ทราบถึงสถานะที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบงานที่ทำการศึกษา ซึ่งการปรับเปลี่ยน แบบจำลองจะสามารถทำได้ง่ายกว่า ในการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขบางประการในการจำลอง เพื่อช่วยหาทางเลือกหรือแนวทาง (Scenario) ที่เหมาะสม ในการนำไปใช้ในสถานการณ์จริง ต่อไปอันจะมีประโยชน์คือช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาด หรือความล้มเหลวได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย และเวลาในการศึกษาได้อีกทาง (Maria, 1997)

ทั้งนี้ การใช้เครื่องมือที่ใช้เพื่อช่วยในการทำการตัดสินใจโดยใช้การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Simulation) จะมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนและความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องสูง เมื่อเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะนำไปใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถูกนำไปใช้กับปัญหาที่สลับซับซ้อนมีขนาดเล็กกว่า ทั้งนี้พบว่าการศึกษาที่ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีอยู่จำนวนจำกัด อีกทั้งการศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการใช้เครื่องมือใดเครื่องมือหนึ่งในการศึกษาเพียงอย่างเดียว ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดจากเครื่องมือเอง

(กลิน รังสิกรรพุม และวัฒนา จันทะโคตร, 2563) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการผสมผสาน (Integrated) หลากหลายเครื่องมือเข้าด้วยกันเริ่มโดยทางผู้วิจัยจะใช้เครื่องมือด้านการวิเคราะห์การทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Decision Making: MCDM) โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Envelopment Analysis (DEA) ทำการวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของของกลุ่มอุตสาหกรรมด้านการบริหารจัดการอาคารอัคคีภัย และใช้เทคนิค Information Entropy Weight (IEW) และ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) สำหรับการวิเคราะห์หาจุดรวมพลอพยพหนีไฟ และประยุกต์ใช้โปรแกรม Pyrosim ซึ่งเป็นโปรแกรมด้าน Fire Dynamic Simulator (FDS) โดยสามารถนำมาใช้ในการพัฒนารูปแบบลักษณะสมบัติของอัคคีภัยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (Fire Characteristics) ร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบใช้ตัวแทน (Agent-Based Simulation: ABS) ผ่านทางโปรแกรมสำเร็จรูปในงานอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อช่วยในการวางแผนตัดสินใจในกรณีการการอพยพหนีไฟของผู้ที่อยู่ในอาคาร โดยการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้จะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงสภาพเหตุการณ์จริงมากขึ้น และสุดท้ายจะมีการใช้เครื่องมือทางสถิติ (Analysis of Variance: ANOVA) ในการทดสอบเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยใช้กรณีศึกษาเกี่ยวกับการจำลองเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้ได้หลายรูปแบบ เช่นเป็นข้อมูลเพื่อป้อนให้กับโมเดลทางคณิตศาสตร์ในขนาดปัญหาที่ใหญ่ขึ้น และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐาน การบริหารจัดการต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของกลุ่มอุตสาหกรรมด้านการบริหารจัดการอาคารอัคคีภัย รวมถึงการวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของแผนนโยบายในการอพยพ

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินไฟไหม้ โดยการบูรณาการ การผสมผสานระหว่าง วิธีการ FDS และ ABS เข้าด้วยกันในการศึกษา

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมและลักษณะของผู้อพยพ (Agent) ต่าง ๆ เมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินกับอัตราในการอพยพหนีไฟ

1.2.4 เพื่อนำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการอพยพหนีไฟ และเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐาน ด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

1.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้วางแผนขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาการอพยพหนีไฟในอาคารโรงงานอุตสาหกรรม

1.3.2 ศึกษาข้อมูลรูปแบบเวลาในการอพยพหนีไฟ และเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ (Movement Time)

1.3.3 ศึกษาแนวคิดทฤษฎีและโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการอพยพหนีไฟ

1.3.4 รวบรวมและวิเคราะห์สถิติการเกิดอัคคีภัยที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ในประเทศไทย

1.3.5 วิเคราะห์ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อหาประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านอัคคีภัย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA)

1.3.6 เลือกกรณีศึกษาจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อสร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟ โดยพิจารณาเลือกจากความสามารถและความยากง่ายในการเข้าถึงข้อมูล

1.3.7 เก็บข้อมูลของพื้นที่ ที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลอง ทั้งในส่วนของคุณลักษณะทางกายภาพของอาคาร (Building Characteristics) และลักษณะของผู้ที่อยู่ในอาคาร (Occupant Characteristics)

1.3.8 ออกแบบการทดลอง (Experimental Design) และแผนการอพยพหนีไฟ (Fire Evacuation Plan)

1.3.9 วิเคราะห์หาจุดรวมพลอพยพหนีไฟ โดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS

1.3.10 ทำการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Simulation Model) และทำการศึกษาเวลาการอพยพหนีไฟ ด้วยโปรแกรม Pathfinder

1.3.11 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาการอพยพหนีไฟ

1.3.12 เปรียบเทียบผลทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างของแผนจากแต่ละปัจจัย สำหรับการอพยพในแต่ละสถานการณ์

1.3.13 สรุปผลการวิจัย

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโมเดลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้การผสมผสานระหว่างวิธีการ FDS และ ABS โดยเป็นการศึกษาผลกระทบจาก 1) ลักษณะสมบัติของการเกิดไฟไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Fire Characteristics) เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยประเภทวัสดุที่เกิดไฟ กำหนดให้เป็นวัสดุประเภทพลาสติกในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และกำหนดให้มีความแตกต่างด้าน ตำแหน่งของการเกิดไฟไหม้ (Fire Location) รวมทั้งสถานการณ์ด้านการเกิดเพลิงไหม้ที่แตกต่างกัน (Fire Scenario) ในช่วงเวลาที่เกิดเหตุฉุกเฉิน 2) การไหลของตัวแทน (Agent) หรือเวลารอคอยในระบบ ซึ่งอาจเกิดจากเวลาที่ใช้ในการรับรู้ข้อมูล รวมทั้งการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการอพยพ (Pre-evacuation time) และความบกพร่องของผู้อพยพในอาคาร (Physical Disability) และ 3) ลักษณะทางกายภาพของอาคาร (Building Characteristics) ที่อาจมีผลต่อการอพยพ เช่น ขนาดความกว้างของประตูหนีไฟ เป็นต้น

1.4.2 การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลในงานวิจัยนี้ ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งได้จากฐานข้อมูลอุบัติเหตุของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในช่วงปี 2556-2558 เนื่องด้วยเป็นข้อมูล ณ ช่วงเวลาล่าสุด ที่หน่วยงานได้มีการบันทึกไว้

1.4.3 กรณีศึกษา (Case Study) ของโมเดลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการศึกษาในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาในโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะมีการใช้ภาพเคลื่อนไหว (Animation) เพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล (Verification and Validation) นอกจากนี้สถานการณ์ (Scenarios) ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร และการไหลของประชากรในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินไฟไหม้ในสถานการณ์ต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน

1.4.4 การจำลองการเกิดไฟในการศึกษานี้ เป็นการจำลองการเกิดไฟในอาคาร และจะไม่มี การนำอิทธิพลของความเร็วลมนอกอาคารมาเกี่ยวข้อง รวมทั้งไม่คำนึงถึงปัจจัยเรื่องช่วงเวลากลางวัน หรือกลางคืน เช่นกัน

1.4.5 สมมติฐานการเกิดไฟในการศึกษานี้ เป็นการจำลองกรณีที่เกิดไฟเพียงตำแหน่งเดียวต่อครั้ง (Single fire source)

1.4.6 ในการศึกษาปรับเปลี่ยนแต่ละ Trial ในการจำลองการอพยพนี้ ได้กำหนดให้มีการกระจายตัวของคนในแต่ละชั้นเป็นแบบ Random โดยที่จำนวนคนในแต่ละ Floor ไม่เปลี่ยนแปลง การนับจุดสิ้นสุดการอพยพ กำหนดให้เป็นการที่ผู้อพยพคนสุดท้ายเดินทางไปถึงจุดรวมพลที่กำหนดไว้ ซึ่งในโมเดลจำลอง กำหนดให้เป็นจุดปล่อยออก (Exit point)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การพัฒนาโมเดลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้ จะช่วยในการวางแผนการตัดสินใจกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบ ที่เกิดขึ้นจากการอพยพหนีไฟ เพื่อหาแนวทางการป้องกันและลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นได้

1.5.2 การสร้างแบบจำลองแบบ ABS ช่วยทำให้โมเดลมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงของลักษณะของผู้อพยพ ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนการอพยพในสถานการณ์จริงมากขึ้น

1.5.3 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Stakeholders) ที่จะได้รับผลประโยชน์ เช่น ทีมงานบริหารจัดการ การตอบโต้เหตุฉุกเฉินในสถานประกอบการ ทีมดับเพลิง ทีมอพยพ และทีมงานบริหารด้านอัคคีภัยในสถานประกอบการ รวมทั้งกิจการอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ตลอดจนหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง เช่น ตำรวจดับเพลิง หน่วยงานป้องกันบรรเทาสาธารณภัยต่าง ๆ สามารถนำแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นไปใช้ประกอบการพิจารณาแผนการหรือนโยบายต่าง ๆ ด้านการป้องกันบรรเทาเหตุการณ์อัคคีภัยได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

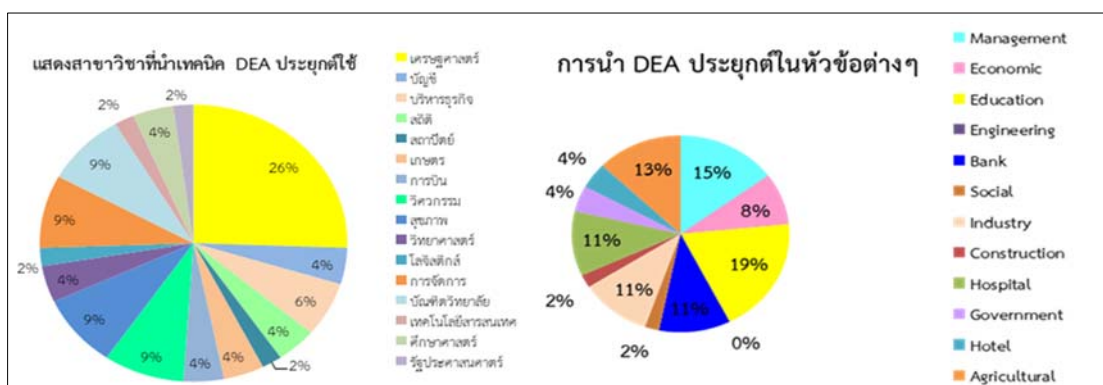
ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ Information Entropy Weight (IEW) และ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) รวมทั้งหลักการทางด้านการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation) ทั้งในด้าน Fire Dynamic Simulation (FDS) ที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการอพยพหนีไฟ ด้วย (Fire Evacuation Simulation) โดยกำหนดหัวข้อที่ศึกษาออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล
- 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ IEW และ TOPSIS
- 2.3 แนวคิดและหลักการของการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย
- 2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการจำลองการอพยพของโปรแกรม Pathfinder
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพและการจำลองการอพยพด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเครื่องมือ MCDM มาผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟและแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน
- 2.7 สรุปประเด็นที่ได้จากการศึกษาที่จะใช้ในงานวิจัย

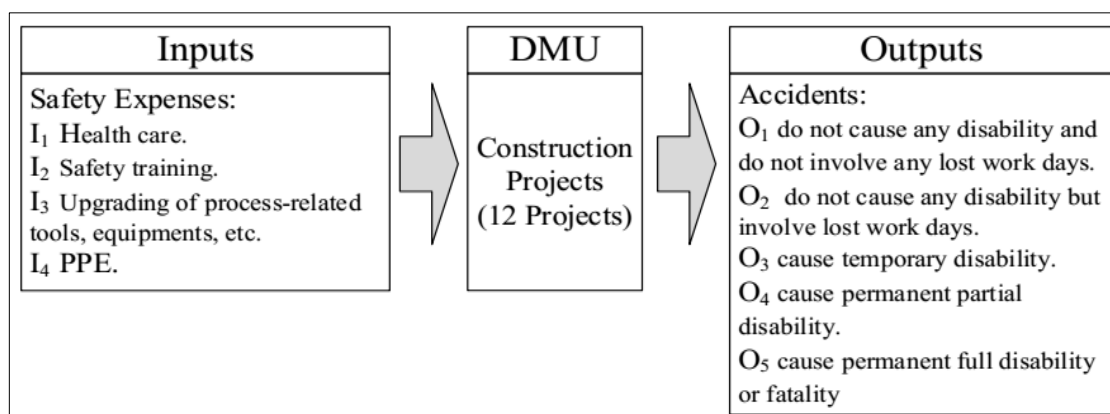
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Envelopment Analysis (DEA) เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งมักนิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเรื่องที่น่าสนใจ โดยพิจารณาจากปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิต ซึ่งสำหรับในประเทศไทยเอง จากอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิค DEA มาใช้ในหลากหลายสาขา โดยจากการศึกษาของ นิรุทธิ์ วัฒนะแสง และคณะ (2561) พบว่าได้มีการรวบรวมวารสารที่มีการนำเทคนิค DEA มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย โดยพิจารณาแบ่งหัวข้อออกเป็น 5 ประเด็นย่อย คือปีที่ตีพิมพ์วารสาร สาขาวิชาของผู้ที่ศึกษา รูปแบบแบบจำลอง DEA ที่ใช้ในการศึกษา แหล่งข้อมูลที่ตีพิมพ์ และการนำเทคนิค DEA ไปประยุกต์ใช้ด้านต่าง ๆ โดยพบว่าสำหรับสาขาวิชาที่นำเทคนิค DEA ไปประยุกต์ใช้มากที่สุดที่ร้อยละ 26 ของงานวิจัยที่สืบค้นได้เป็นสาขางานทางด้านเศรษฐศาสตร์ รองลงมาร้อยละ 9 มีการนำไปใช้เท่า ๆ กันในสาขาทางด้านการจัดการ สาขาด้านวิศวกรรม สาขาด้านสุขภาพ และในส่วนของบัณฑิตวิทยาลัย นอกจากนี้ร้อยละ 6 ของงานวิจัยที่สืบค้นมาได้มีการนำไปใช้ในสาขาทางด้านการบริหารธุรกิจดังแสดงในภาพที่ 2.1

นอกจากนี้ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคนิค DEA ไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการความปลอดภัย พบว่า Grit (2015) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างโดยใช้เทคนิคการประเมินประสิทธิภาพ DEA มาทำการประเมินประสิทธิภาพของการบริหารโครงการก่อสร้างจำนวน 12 โครงการ โดยกำหนดปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 สัดส่วนของงานนำเทคนิค DEA ไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ ในไทย
ที่มา: นิรุทธิ์ วัฒนะแสง และคณะ (2561)



ภาพที่ 2.2 ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในการประเมินประสิทธิภาพการจัดการความปลอดภัยโครงการก่อสร้าง
ที่มา: Grit (2015)

สำหรับในงานด้านการอพยพ Russo and Rindone (2010) นำเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลมาใช้ในการประเมินการวางแผนการอพยพในเมือง ทั้งนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการอพยพในระบบการขนส่งในเมืองในภาวะฉุกเฉิน เช่น เหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสินค้าอันตรายรั่วไหลที่อาจเกิดความเสียหายใหญ่หลวง หน่วยงานราชการในท้องถิ่นที่อาจต้องตัดสินใจว่าจะต้องอพยพออกจากพื้นที่โดยรอบ โดย Russo และ Rindone ได้กำหนดปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในการประเมินประสิทธิภาพของแผนการอพยพ

DMU	City/Town	Surface (Km ²)	Density (inhab.10 ³ /km ²)	Population (inhab.10 ³ /km ²)	Vehicles to evacuate (vehic.10 ³ input, i _j)	Evacuation time (hours) (output, o _j)
1	Reggio Calabria	236	0,78	185,0	12,0	23,00
2	Zafferana Etnea (CT)	76	0,12	7,3	2,0	0,6
3	Melito (RC)	35	0,32	11,4	0,20	0,35

ที่มา: Russo and Rindone (2010)

Russo and Rindone (2012) นำเสนอบทความเสนอการประเมินวิธีการเปรียบเทียบแผนการอพยพ วิธีการวิจัยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การอพยพจะถูกแทนด้วยกระบวนการผลิตที่ป้อนโดยชุดของ Input เทียบกับ Output กรณีศึกษาที่ใช้คือกรณีการเกิดพายุเฮอริเคน โดยใช้ปัจจัย Input เทียบกับ Output ดังแสดงในตารางที่ 2.2

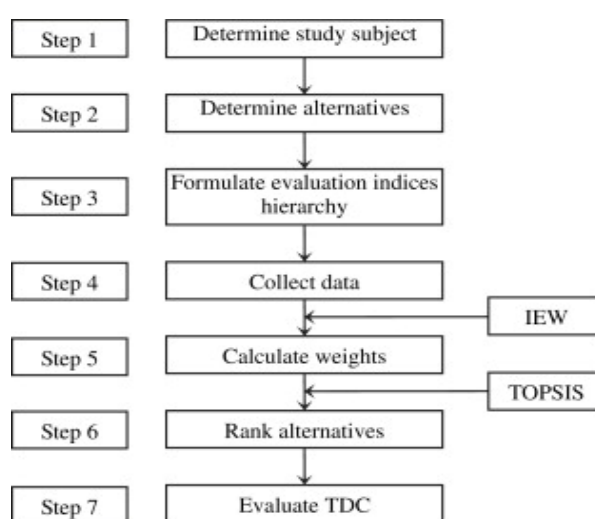
ตารางที่ 2.2 ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตในกรณีอพยพจากเฮอริเคนของแต่ละเมือง

No.	County	Permanent Population (inab.*100,000) Input ₁	Vehicles evacuating (car*100,000) Input ₂	Clearance time (hours) Output
1	Cumberland	2.79	9.1	2.75
2	Hancock	0.55	6.4	3.75
3	Kennebec	1.22	5.5	2.75
4	Knox	0.42	2.8	4.00
5	Lincoln	0.36	3.6	1.75
6	Penopscot	1.50	7.7	3.00
7	Segadahog	0.38	2.0	1.75
8	Waldo	0.40	3.1	6.25
9	Washington	0.33	3.1	4.00
10	York	2.07	16.8	1.75

ที่มา: Russo and Rindone (2012)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ IEW และ TOPSIS

Zhang and et al. (2011) ได้ทำการศึกษาประเมินความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว Tourism destination competitiveness (TDC) ของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำแยงซีในประเทศจีน การศึกษานี้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ทำการออกแบบปัจจัยการประเมินผล ออกเป็น 35 รายการซึ่งถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลเอนโทรปี (IEW) ขั้นตอนที่สองใช้วิธีการ TOPSIS ในการจัดอันดับข้อมูล นอกจากนี้ยังจัดให้มีการจัดอันดับเมือง 16 เมืองในสามเหลี่ยมปากแม่น้ำแยงซี รวมทั้งการจัดอันดับโดยรวมขั้นสุดท้าย และได้นำเสนอเกี่ยวกับกลยุทธ์และวิธีการสำหรับเมืองต่าง ๆ ในการปรับปรุงความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว (TDC) ผลการวิจัยพบว่า IEW และ TOPSIS สามารถนำไปใช้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิผลในการประเมิน TDC



ภาพที่ 2.3 กรอบการประเมินความสามารถในการแข่งขันด้านการท่องเที่ยว (TDC)

ที่มา: Zhang and et al. (2011)

Ding and Zeng (2015) ได้นำเสนอ Techniques for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) ร่วมกับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) เพื่อหาประสิทธิภาพการจัดการของมหาวิทยาลัยในจีน 68 ที่อยู่ภายใต้สังกัดของกระทรวงศึกษาธิการ (MOE) ตั้งแต่ปี 2545 ถึงปี 2554 โดยทำการประเมินในด้านการสอน และ ความสามารถในการวิจัยและ ด้านศักยภาพในการดำเนินงานในระยะสั้นและระยะยาวตามลำดับ ผลการดำเนินงานของมหาวิทยาลัยชี้ให้เห็นว่า กลไกการจัดสรรงบประมาณรายจ่ายประจำปีในมหาวิทยาลัยของจีนนั้นไม่มีสมเหตุสมผล และการศึกษาระดับอุดมศึกษาของจีนโดยรวมก็ไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลการดำเนินงานของมหาวิทยาลัยในภาคตะวันออกยิ่งดีกว่ามหาวิทยาลัยในภาคกลางและภาคตะวันตก และพบอีกว่า ความสามารถในการวิจัยและพัฒนาสามารถกำหนดผลการดำเนินงานโดยรวมของมหาวิทยาลัย

Geng and et al. (2020) ประยุกต์ใช้เทคนิค IEW-TOPSIS ในการศึกษาวิเคราะห์และทำนายความสัมพันธ์ระหว่างท่องเที่ยวและสภาพบรรยากาศ กรณีศึกษา เขตเศรษฐกิจแม่น้ำแยงซีในประเทศจีน โดยในการศึกษานี้ได้ประยุกต์แนวทาง เทคนิค IEW-TOPSIS ร่วมกับแบบจำลอง

Coupling Coordination Degree Model (CCDM) และแบบจำลองการคาดคะเน GM (1, 1) มีประสิทธิภาพในการประเมิน ความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยของการท่องเที่ยวและสภาพแวดล้อมทางอากาศ

El-Santawy (2012) ได้กล่าวถึงกระบวนการฝึกอบรมบุคลากรว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาองค์กร ดังนั้นจึงควรพิจารณาหลักเกณฑ์ทางเลือกต่าง ๆ เพื่อการเลือกและจัดอันดับ ดังนั้นเขาจึงได้นำเสนอปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) ประยุกต์ใช้ในปัญหาการคัดเลือกการฝึกอบรมของบุคลากรของ โดยการใช้เทคนิค TOPSIS รวมการถ่วงน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) เพื่อแก้ปัญหา

Abidin, Rusli and Shariff (2016) ทำการศึกษาเพื่อระบุทางเลือก Inherently Safer Design (ISD) ที่ดีที่สุดสำหรับการจัดเก็บเมทิลไฮโซไซยาเนตที่โรงงานผลิตปุ๋ยเวสต์เวอร์จิเนีย ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอันดับที่ได้รับสำหรับการจัดอันดับทางเลือก ISD พบว่าวิธี Du Pont ได้รับการระบุว่าเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี TOPSIS-Entropy สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่รายงานในงานก่อนหน้าโดยใช้ Multi Attribute Utility Analysis พิสูจน์ได้ว่าวิธี TOPSIS-Entropy นี้สามารถใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือก Inherently Safer Design (ISD) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 แนวคิดและหลักการของการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosure Fire Dynamics)

การศึกษาการเคลื่อนที่ของไฟในพื้นที่ปิดล้อม เป็นการศึกษาและทำนายถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะต่าง ๆ พฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และพัฒนาการของเพลิงที่เกิดในระยะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลองขณะเกิดเพลิงไหม้ รวมทั้งการทำงานของระบบป้องกันอัคคีภัย ตลอดทั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ในพื้นที่ ในการจำลองสามารถจำลองได้ 2 แบบ ดังนี้

2.3.1 การจำลองแบบโซน (Zone Model) โดยการแบ่งสถานะของก๊าซในห้องออกเป็นโซนตามคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ในระยะเริ่มแรกของการเกิดไฟ ควันร้อนจะลอยอยู่ด้านบนติดเพดานและอากาศเย็นจะลอยตัวอยู่ด้านล่าง บริเวณพื้นที่ในช่วงนี้จะสามารถแบ่งสถานะในห้องออกเป็น 2 โซนคือควันร้อนด้านบน อากาศเย็นด้านล่าง การจำลองแบบโซนจะเหมาะกับห้องหรืออาคารที่ไม่ซับซ้อน โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์สถานะต่าง ๆ เช่นสมการอนุรักษ์พลังงาน สมการอนุรักษ์มวล เป็นต้น

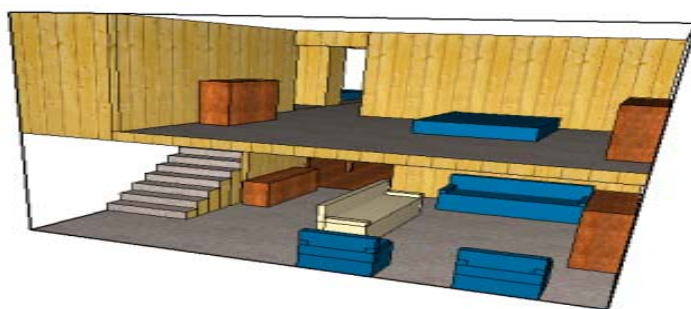
2.3.2 แบบจำลองพลศาสตร์การไหล (Computation Fluid Dynamics Model: CFD) ในแบบจำลองนี้จะแบ่งพื้นที่ที่จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ ออกเป็นปริมาตรเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการจำลอง แล้วใช้การคำนวณสถานะ คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของไฟและควันไฟในปริมาตรเล็ก ๆ นั้น โดยการแก้สมการอนุรักษ์พลังงานต่าง ๆ จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะขึ้นอยู่กับขนาดและความซับซ้อนของพื้นที่ และจำนวนของปริมาตรเล็ก ๆ ที่แบ่ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง และผู้ใช้งานโปรแกรมควรต้องมีความรู้ความเชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมเพื่อให้สามารถป้อนและแปลผลข้อมูลจากโปรแกรมได้อย่างถูกต้องด้วย

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ ได้รับการยอมรับมากขึ้นและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator

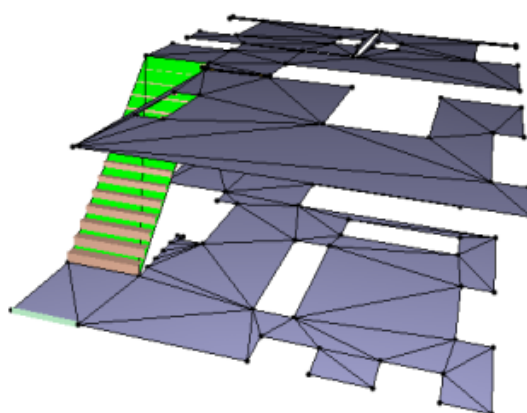
พัฒนาโดยสถาบัน National Institute of Standards and Technology ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยคำนวณและศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้ ซึ่งผลจากการศึกษาจะทำให้เห็นถึงพฤติกรรมและพัฒนาการของเพลิงในแต่ละช่วงเวลา เช่น การเคลื่อนที่ของควัน การส่งถ่ายความร้อน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เป็นต้น

2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการจำลองการอพยพของโปรแกรม Pathfinder

โปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมจำลองการอพยพ (Evacuation) ซึ่งเป็น Simulation ที่ใช้การโมเดลพฤติกรรมของเอเจนซ์ (Agent-Based Simulation: ABS) โดยศึกษาการเคลื่อนที่เพื่อหาทางออกจากพื้นที่ของผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ทำการจำลอง ซึ่งรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรมสามารถเลือกที่จะให้แสดงผลได้ทั้งแบบสองมิติ (2D) และสามมิติ (3D) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 แนวคิดที่ใช้ใน Pathfinder จะเป็นการสร้างพื้นที่ที่มีทางเดินเป็นหลัก รวมทั้งองค์ประกอบในเส้นทางอพยพไม่ว่าจะเป็นสิ่งกีดขวาง ประตู บันได การเคลื่อนที่ของผู้อพยพจะเกิดขึ้นภายใต้ระบบรูปทรงเรขาคณิตภายในแบบจำลองที่เกิดขึ้นจากการสร้างเป็นกริดรูปสามเหลี่ยมติดกันที่เรียกว่า Navigation Mesh ดังแสดงในภาพที่ 2.5 Thunderhead engineering (2019a: Website)



ภาพที่ 2.4 แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างในโปรแกรม Pathfinder
ที่มา: Thunderhead engineering (2019a: Website)

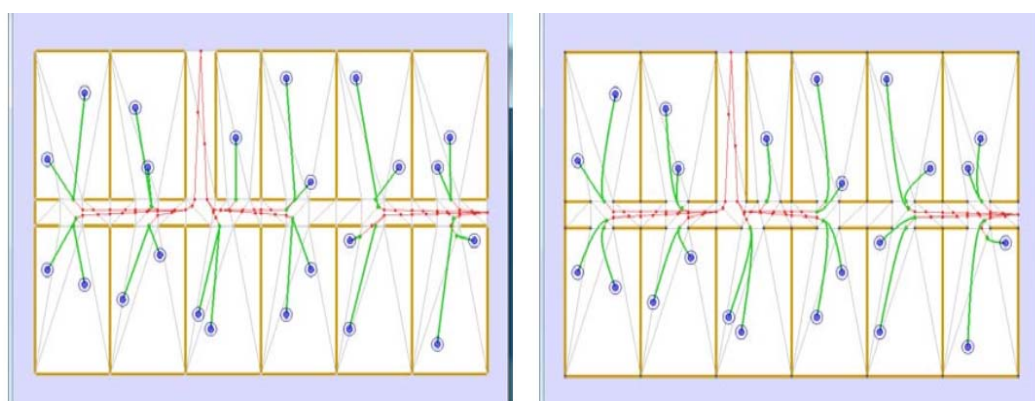


ภาพที่ 2.5 แบบ navigation mesh
ที่มา: Thunderhead engineering (2019a: Website)

ทั้งนี้การแสดงผลของโปรแกรม Pathfinder สามารถแสดงออกมาในรูปแบบของข้อมูลตัวเลขและกราฟ รวมทั้งกราฟฟิกแสดงสถานะ ความหนาแน่นของผู้อพยพ เวลาที่ใช้ในการอพยพ นอกจากนี้เครื่องมือที่มีในโปรแกรมสามารถที่จะเลือกป้อนค่าลักษณะสมบัติเกี่ยวกับตัวผู้อพยพ รูปแบบของการอพยพ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดยโปรแกรมจะบันทึกการสิ้นสุดการอพยพเมื่อผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากทางออก (Exit) นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถรองรับการนำเข้าแบบจำลองพื้นที่อพยพจากโปรแกรมอื่น ๆ เช่นโปรแกรม FDS ที่เรียกว่า Pyrosim ในการจำลองเหตุฉุกเฉินจากเพลิงไหม้ หรือไฟล์ DWG และ DXF ที่ได้จากการสร้างด้วยโปรแกรมออกแบบต่าง ๆ แล้วใช้เครื่องมือใน Pathfinder สร้างเส้นทาง ประตู่ และบันไดหนีไฟ รวมทั้งจุดปล่อยออกสู่พื้นที่ปลอดภัย (Exit) โดยการจำลองการเคลื่อนที่ใน Pathfinder สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

(1) The Society of Fire Protection Engineering (SFPE) รูปแบบการเคลื่อนที่แบบ SFPE จะมีลักษณะเป็นแนวเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ก) โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้อพยพจากจุดเริ่มต้นจะเป็นเส้นตรงตลอดเส้นทางไปจนถึงจุดทางออก ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผู้อพยพในพื้นที่และในเส้นทางหนีไฟ รูปแบบการเคลื่อนที่

(2) Steering เป็นการเคลื่อนที่ที่รูปแบบนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น มีการเว้นระยะห่างระหว่างผู้อพยพด้วยกันและเว้นระยะห่างระหว่างผู้อพยพกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ข)



(ก) แสดงการเคลื่อนที่แบบ SFPE

(ข) แสดงการเคลื่อนที่แบบ Steering

ภาพที่ 2.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้อพยพในโปรแกรม Pathfinder

ที่มา: Thunderhead engineering (2019a : Website)

ทั้งนี้ความเร็วสูงสุดในการอพยพ และการเร่งความเร็วของผู้อพยพไปตามเส้นทาง ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งนี้สามารถหาค่าความเร็วได้ดังแสดงในสมการที่ (2.1) ดังนี้

$$a_{max} = 2 * V(D) \quad (2.1)$$

โดยที่ a_{max} คือ ความเร็วสูงสุดของผู้อพยพ
 $V(D)$ คือ ความหนาแน่นของผู้อพยพซึ่งจะต้องมากกว่าศูนย์

นอกจากนี้ สามารถกำหนดรูปร่างเรขาคณิตในโปรแกรม Pathfinder ได้ตามลักษณะช่องทางการเชื่อมต่อในการเคลื่อนไหวของ Agent ดังนี้ (Thunderhead engineering, 2019b: Website)

(1) พื้นที่ห้อง (Room) สามารถสร้างพื้นที่ห้องโดยการใช้หน้าต่างเครื่องมือ (Add a Room) ในการสร้างรูปร่างและกำหนดระดับความสูง (Level) ได้ โดยห้องที่สร้างขึ้นที่จะเป็นที่ยู่หรือสำหรับการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ

(2) ประตูสำหรับเชื่อมต่อ (Door Connecting) ใช้สำหรับสร้างการเชื่อมต่อระหว่างห้องสองห้องเข้าด้วยกัน ในโหมด SFPE ประตูจะทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของผู้อพยพผ่านประตู ในโหมด Steering ประตูจะทำหน้าที่บันทึกการไหลของผู้อพยพระหว่างห้อง

(3) บันได (Stairs) สำหรับใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างห้องที่อยู่ต่างระดับกัน สามารถกำหนดความกว้างของบันไดได้ ซึ่งบันไดจะเป็นตัวควบคุมการไหลของผู้อพยพ ด้วยเช่นกัน

(4) ทางลาด (Ramp) ใน Pathfinder ทางลาดจะมีลักษณะคล้ายกันกับบันได ในโหมด SFPE ทางลาดจะไม่มีผลกระทบกับความเร็วของผู้อพยพ

(5) ประตูทางออก (Exit) เป็นประตูที่ใช้สำหรับเป็นทางออกสุดท้ายจากตัวอาคาร

ทั้งนี้ โปรแกรม Pathfinder กำหนดลักษณะของผู้อพยพ (Occupant Characteristics) ประกอบด้วยสองลักษณะ คือลักษณะทางกายภาพ และลักษณะตัวแปรที่ส่งผลต่อการอพยพ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของผู้อพยพ

คุณสมบัติ (Property)	คำอธิบาย (Description)
Name	ชื่อของผู้อพยพ
Size	ขนาดของผู้อพยพ
Color	สีที่ใช้แสดงผู้อพยพ
Speed	ความเร็วสูงสุดในการอพยพ
Delay	การหน่วงเวลาก่อนทำการอพยพ
Exit	ทางออกของผู้อพยพ
Coordinate	ตำแหน่งของผู้อพยพในพื้นที่ 3 มิติ

ที่มา: Thunderhead engineering (2019a: Website)

ตารางที่ 2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพ

ทางเลือกในการตัดสินใจ (Decision Option)	คำอธิบาย (Description)
Speed	ความเร็วสูงสุดในการเดิน
Delay	การหน่วงเวลาก่อนทำการอพยพ
Size	ขนาดของผู้อพยพ

ที่มา: Thunderhead engineering (2019a: Website)

2.4.1 การออกแบบสถานการณ์การเกิดไฟ (Design of fire scenario)

ภายในโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละโรงงาน มีลักษณะเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พัฒนาการของไฟในแต่ละสถานที่มีความแตกต่างกันด้วย ทั้งนี้พัฒนาการของไฟสามารถพิจารณาได้จากอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate: HRR) ของเชื้อเพลิง ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงต่าง ๆ จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการใช้ในการคำนวณหาอัตราการเกิดควัน และเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับนำเข้าสู่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ Fire Dynamic Simulation: FDS เพื่อจำลองการเกิดอัคคีภัยของพื้นที่ที่ทำการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ผลและคำนวณหาผลกระทบที่เกิดจากไฟไหม้ เช่น อุณหภูมิของควันไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิและควันไฟ รวมไปถึงความเข้มข้นของก๊าซพิษ ซึ่งสามารถนำพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในการเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่มนุษย์สามารถรับสัมผัสได้โดยไม่เกิดอันตราย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาระยะเวลา Available Safe Egress Time: ASET ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ใช้อาคารสามารถอยู่ในอาคารได้อย่างปลอดภัย

อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง (Heat Release Rate: HRR) จะถูกวัดออกมาในหน่วยของกิโลวัตต์ (kW) โดยใช้สัญลักษณ์เป็นตัว Q ค่า HRR นี้จะแสดงถึงขนาดของไฟที่เกิดขึ้นซึ่งจะนำไปสู่การสร้างความเสียหาย (Potential to damage) ซึ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานนี้จะส่งผลโดยตรงต่อฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีที่อยู่โดยรอบไฟ (Radiant Heat Flux) สมการอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (Energy Release Rate) เป็นดังสมการที่ (2.2)

$$Q = \frac{\Delta hcM}{T} \quad (2.2)$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนจากเพลิงไหม้ (Heat Release Rate, kW หรือ kJ/s)
 Δhc คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion, kJ/Kg)
 M คือ ปริมาณของเชื้อเพลิง (Mass of Fuel, Kilogram)
 T คือ ระยะเวลาที่เผาไหม้ (Time of Combustion, Second)

รูปแบบการเกิดเพลิงไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ตามรูปแบบจำลองของ Alpert แบบค่าพิกัดการคายความร้อน (Heat Release Rate) คงที่ (Alpert's Steady State Fire Model) รูปแบบ กึ่งค่าพิกัดความร้อนคงที่ (Alpert's Quasi Steady State Fire Model) และรูปแบบ จำลองแบบค่าพิกัดความร้อนแปรเปลี่ยนตามเวลา (Power Law Fire Model) ตามสมการที่ 2.3

$$\dot{Q} = \alpha t^p \quad (2.3)$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คือ ค่าพิกัดการคายความร้อนรวมหรือ Total Release Rate, กิโลวัตต์ (kW)
 α คือ ค่าคงที่ของการพัฒนาไฟของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท, กิโลวัตต์/วินาที² (kW/s²)
 t คือ เวลา, วินาที (s)
 p มีค่าเท่ากับ 2

ตามทฤษฎี T-square Fire กล่าวถึงการลุกลามของเพลิงไหม้แบบต่อเนื่อง (Continuous Growth Fire T- square Fire) โดยแบ่งตามสัดส่วนของเวลาได้เป็น 5 ระดับ ซึ่งเพลิงไหม้แบบ T-squared สามารถแบ่งประเภทตามความเร็วในการลุกลามของเพลิงไหม้ดังนี้คือ ช้ามาก ช้าปานกลาง เร็ว (ในบางกรณีจะมีระดับเร็วมาก) เวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้ กำหนดตามอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 1,055 กิโลวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 (National Fire Protection Association, 2000)

ตารางที่ 2.5 เวลาในการลุกลามของเพลิงไหม้ตามอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR)

ประเภท (Growth Rate Class)	ช่วงของค่าคงที่ของการพัฒนาไฟ (Range of (kW/s ²))	เวลาที่มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 1,055 กิโลวัตต์ (วินาที) (Time to reach 1055 kW (s))
ช้ามาก	< 0.000412	>1600
ช้า	0.000412 – 0.006594	400 – 1600
ปานกลาง	0.006594 – 0.026375	200 – 400
เร็ว	0.026375 – 0.1055	100 – 200
เร็วมาก	>0.1055	< 100

2.4.2 เวลาที่ผู้ใช้อาคารโรงงานใช้ในการอพยพออกมาจากอาคารสู่บริเวณที่ปลอดภัย

เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟไปยังพื้นที่ปลอดภัย (Required Safe Egress Time: RSET) ขึ้นอยู่กับ 4 องค์ประกอบ (ภาพที่ 2.7) ซึ่งมีอิทธิพลจากลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรมของผู้ที่อยู่ในอาคารโรงงานตามสมการที่ (2.4) (Guanquan, Jinhui and Qingsong, 2012)

$$t_{RSET} = \Delta t_{det} + \Delta t_a + (\Delta t_{pre} + \Delta t_{trav}) \quad (2.4)$$

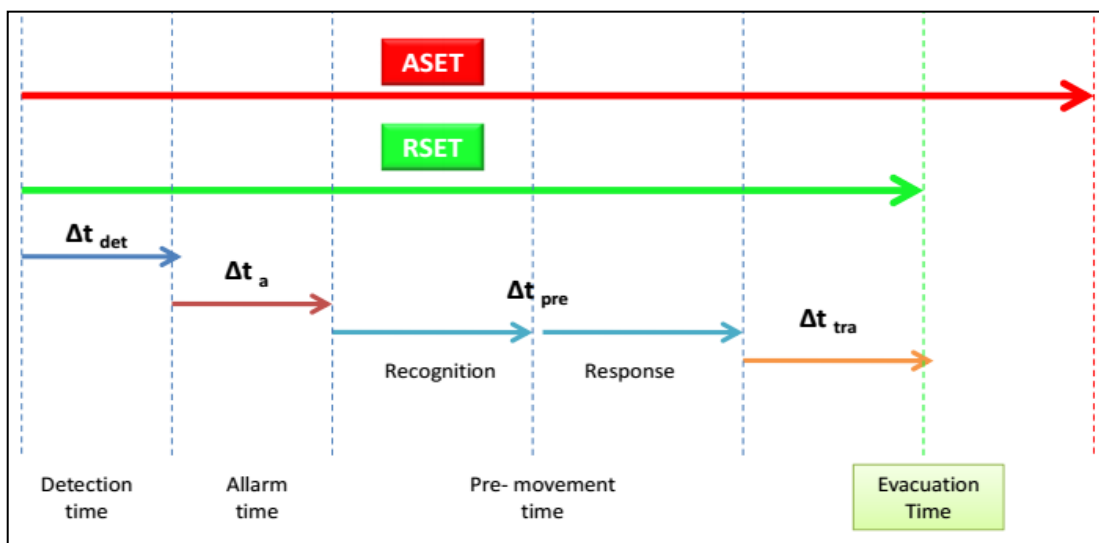
โดยที่ t_{RSET} คือ เวลาในการอพยพหนีไฟ

Δt_{det} คือ เวลาในการตรวจจับเพลิงไหม้ของอุปกรณ์

Δt_a คือ เวลาในการแจ้งเตือนเพลิงไหม้

Δt_{pre} คือ เวลาก่อนการอพยพหนีไฟของผู้ที่อยู่ในอาคาร

Δt_{trav} คือ เวลาเริ่มต้นของการอพยพหนีไฟของผู้ที่อยู่ในอาคารจนกระทั่งออกไปสู่พื้นที่ปลอดภัย



ภาพที่ 2.7 องค์ประกอบของเวลาในการอพยพหนีไฟ (Required Safe Egress Time: RSET)
ที่มา: CFPA-E Guideline (2019: Website)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพและการจำลองการอพยพด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

2.5.1 งานวิจัยในประเทศ

สุทัศน์ ประเสริฐพานิช (2555) จำลองการอพยพหนีไฟของอาคารสูงด้วยแบบจำลอง Pathfinder กรณีศึกษาอาคาร QHouse ลุมพินี เมื่อนำมาจัดทำมาตรการในการป้องกันและแก้ไข เพื่อให้การอพยพคนออกจากอาคารได้โดยปลอดภัย โดยจำลองการอพยพหนีไฟ 3 กรณี ในกรณีที่หนึ่งกับสองจะมีทางออกจากอาคารจำนวน 1 เส้นทาง จะไม่เพียงพอต่อการอพยพ เพราะยังมีผู้อพยพค้างอยู่ในอาคารซึ่งจะมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตราย ส่วนกรณีที่สาม จำลองการอพยพหนีไฟที่มีทางออกจำนวน 2 เส้นทาง ก็ไม่สามารถอพยพคนออกจากอาคารภายในเวลาตามที่กฎหมายกำหนด แต่เมื่อเทียบกับการจำลองการอพยพหนีไฟทั้ง 3 กรณี กรณีที่สามจะใช้เวลาน้อยที่สุด สามารถอพยพคนได้รวดเร็ว และทำให้ลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และต้องแนะนำให้เพิ่มขนาดของบันไดหนีไฟ มีการแออัดในบันไดหนีไฟ ทำให้การอพยพเป็นไปอย่างล่าช้า หากเพิ่มขนาดของบันได จะทำให้ผู้อพยพสามารถใช้เส้นทางหนีไฟได้มากขึ้นและสามารถอพยพสู่ทางออกที่ปลอดภัยได้ตามกฎหมาย

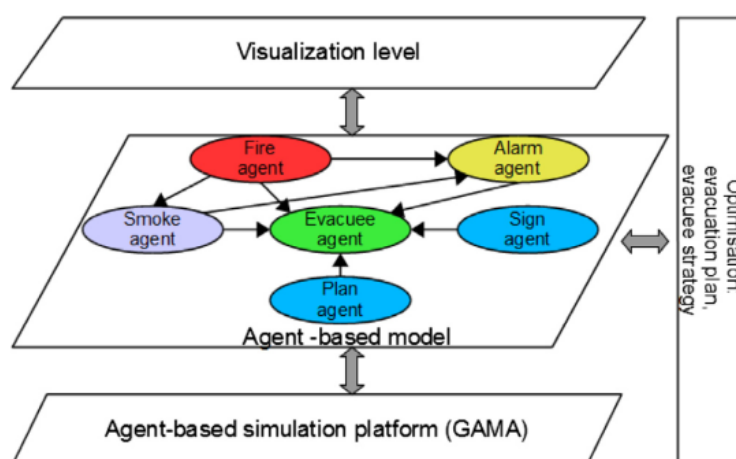
เชมณัฐ เลิศวิชญนันท์ (2556) ศึกษาเส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาการอพยพ กรณีศึกษาอาคารเทียบเครื่องบิน ชั้น 4 สนามบิน จัดอยู่ในประเภทอาคารชนิดอาคารขนาดใหญ่พิเศษ จัดเป็นประเภทกิจกรรมการใช้อาคารแบบประเภทชุมนุมคน เป็นอาคารที่มีผู้ใช้จำนวนมาก ส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคยกับสถานที่ พบว่าระยะเวลาการอพยพหนีไฟจากอาคารเทียบเครื่องบิน E และ B ไปถึงจุดที่ปลอดภัย ใช้เวลาการอพยพมากที่สุดคือ 18.49 นาที และ 18.30 นาที ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย ถ้าอพยพหนีไฟไปตามเส้นทางที่แนะนำ และเป็นการรวบรวมทำฐานข้อมูลในการเตรียมเส้นทางหนีไฟ การจัดทำแผนอพยพหนีไฟ สำหรับใช้ในงานตกแต่งปรับปรุงพื้นที่ เพื่อสร้างความมั่นใจในระบบความปลอดภัยด้านอัคคีภัยต่อร้านค้าผู้เช่า ผู้ใช้บริการ และผู้สัญจรต่อไป

ขวัญชนก ยศจันทร์ (2557) จำลองการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ ด้วยการกำหนดให้ ความ กว้างของประตูหนีไฟให้มีขนาดใหญ่จากเดิม 50 เซนติเมตร สามารถลดระยะเวลาการอพยพ ของผู้ใช้อาคารได้ถึง 30 วินาที และจากการเพิ่มขนาดความกว้างของประตูหนีไฟนี้ ทำให้เพิ่ม ความปลอดภัยกับผู้ใช้อาคารที่อพยพออกจากอาคารได้มากขึ้น และสามารถลดความรุนแรงของเหตุเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้

สมบุญ สารทอง (2558) ทำการศึกษาการใช้งานอาคารแบบผสมประกอบด้วยชุมชนคนที่พักอาศัย และธุรกิจ มีทางหนีไฟหลัก 3 ทาง ซึ่งสามารถรองรับผู้อพยพได้เพียงพอและเหมาะสมทุกชั้น แต่มีการรอคิวสูงสุดที่ ชั้น 5 และชั้น 7 ทำให้เกิดคอขวดขณะทำการอพยพหนีไฟ เนื่องจากมีจำนวน ผู้ใช้งานอาคารมากกว่าชั้นอื่น ๆ และพบว่าถ้าทดลองขยายขนาดประตูบันไดหนีไฟ เพื่อลดขนาดคอขวดในชั้นนั้น ๆ ผลการคำนวณเวลาการอพยพหนีไฟลดลงคิดเป็น 7.82% ทำให้ผู้ใช้งานอาคารมีความปลอดภัยในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารเพิ่มสูงขึ้น

2.5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

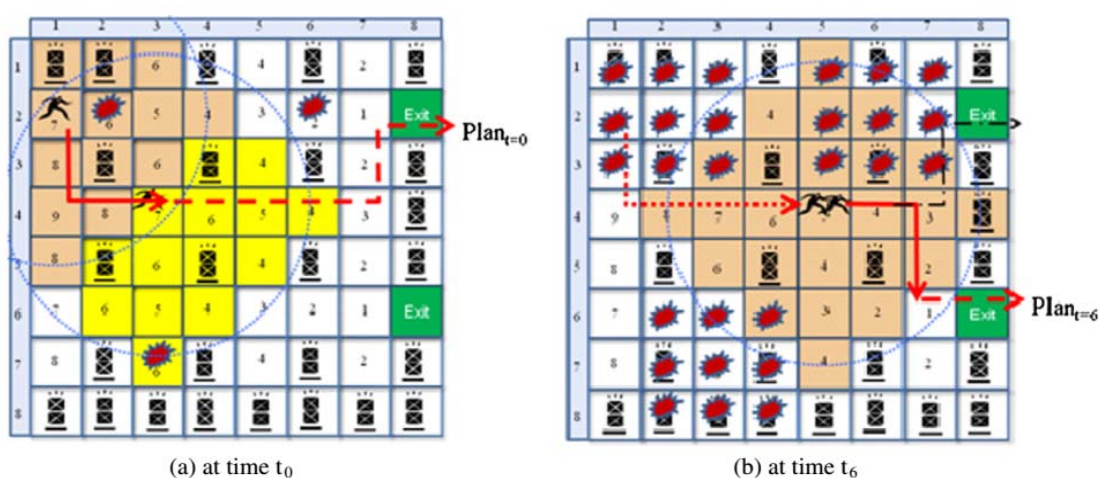
Nguyen (2013) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของควันที่ส่งผลกระทบต่อสถานการณ์การอพยพหนีไฟในกรณีที่ไม่เห็นเส้นทางอพยพ โดยได้กล่าวถึงข้อเท็จจริงการอพยพหนีไฟที่ว่าควันจะเป็นอุปสรรคต่อการค้นหาทางออกของผู้อพยพ ในงานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการอพยพโดยใช้ตัวแทน (Agent-Base) ด้วยกลยุทธ์ที่ผู้อพยพได้รับผลกระทบจากควันจนมองไม่เห็นทางออก คล้ายคนตาบอด (SEBES) โดยบูรณาการรูปแบบการแพร่กระจายควันและผลกระทบต่องยุทธ์การมองเห็นความเร็ว และการอพยพของผู้อพยพ การใช้แบบจำลองนี้ช่วยให้สามารถปรับกลยุทธ์การอพยพให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงระดับการมองเห็น ผลการจำลองที่ได้จากแบบจำลองที่เหมือนจริง โดยใช้กรณีศึกษาของเมโทรซูเปอร์มาร์เก็ตในเมือง ฮานอย-เวียดนาม ยืนยันถึงผลกระทบที่สำคัญของควันต่อจำนวนผู้บาดเจ็บ นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้เสนอรูปแบบลำดับขั้นที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแทน (Agent) ในโมเดล (SEBES) ดังแสดงในภาพที่ 2-8 งานวิจัยนี้ใช้ โปรแกรม GAMA ในการจำลองพฤติกรรมของ Agent



ภาพที่ 2.8 ลำดับขั้นของโมเดล (SEBES)

ที่มา: Nguyen (2013)

Joo and et al. (2013) ได้ใช้ ABS ในการศึกษาพฤติกรรมของมนุษย์ระหว่างการอพยพ โดยในงานวิจัยนี้ใช้กรณีศึกษาใน “การอพยพจากอัคคีภัยคลังสินค้า” เพื่อแสดงให้เห็นถึงอัลกอริธึมการวางแผนการตอบสนองของมนุษย์ในแบบจำลองสถานการณ์ ผลการศึกษาการจำลองสถานการณ์พบว่ากรอบการทำงานที่นำเสนอในการจำลองพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของมนุษย์มีความถูกต้อง โดยสามารถจับภาพตามธรรมชาติที่มนุษย์ทำหน้าที่ในการอพยพฉุกเฉินและเพิ่มความน่าเชื่อถือของการจำลองการวิเคราะห์และการทำงานพฤติกรรมมนุษย์ ระบบรับรู้ของคน และการตอบสนองในระบบ ทั้งนี้ในการพัฒนาปัญหาการอพยพของไฟไหม้คลังสินค้า เรียกว่า Warehouse Fire Evacuation (WFE) นี้ ตามภาพเป็นการจำลองว่าผู้ปฏิบัติงานสองคนกำลังทำงานอยู่ โดยพื้นที่คลังสินค้าถูกแบ่งเท่า ๆ กันเป็นตารางสี่เหลี่ยม 0.8 คูณ 0.8 ตารางเมตร ใช้สำหรับเก็บสินค้าหรือเป็นทางเดิน ในการขนส่ง ซึ่งสินค้าถูกวางซ้อนกันสูงมากจนผู้ประกอบการไม่สามารถมองเห็นล๊อตการจัดเก็บได้ โดยมีการจำลองให้ไฟเกิดขึ้นที่สถานที่ต่าง ๆ สามแห่งในโกดังและไฟมีการแพร่กระจายไปยังพื้นที่ข้างเคียงอย่างรวดเร็วด้วยความเร็วที่แน่นอน ทันทีที่ผู้ปฏิบัติงาน (Agent) มองเห็นไฟ จะต้องหาเส้นทางที่ปลอดภัยและเป็นไปได้ไปยังทางออกไปตามทางเดิน โดยพิจารณาจากสภาพแวดล้อมที่รับรู้เพื่อหลบหนีจากไฟ ทั้งนี้ เมื่อผู้อพยพพยายามที่จะอพยพไปยังล๊อตถัดไป ถ้าล๊อตถูกรอบครองด้วยไฟ ผู้อพยพจะไม่สามารถเข้าถึงได้และจะต้องหลีกเลี่ยงไปยังทางอื่น ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม AnyLogic ในการทดลอง



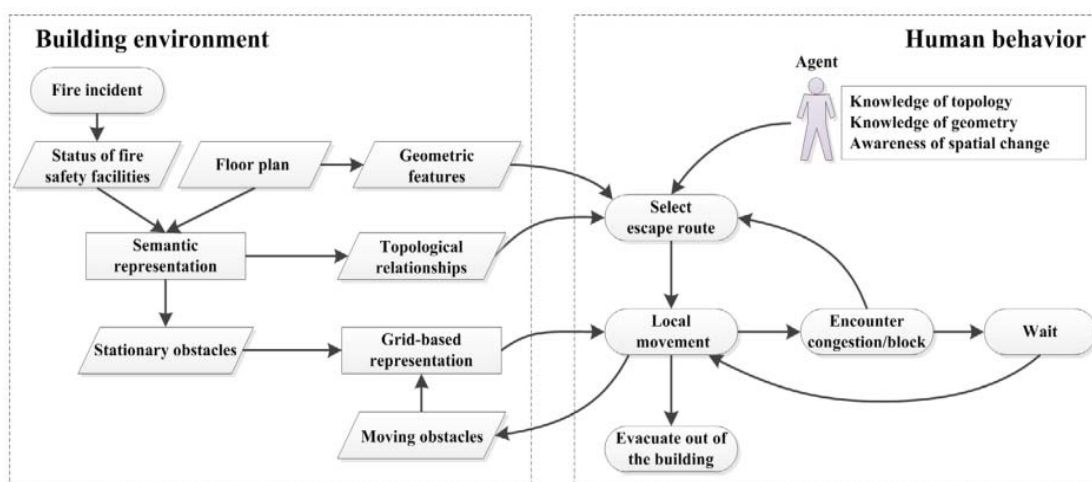
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการอพยพหนีไฟในคลังสินค้า

ที่มา: Joo and et al. (2013)

Liu, Jiang and Shi (2016) ให้ความสนใจกับอุบัติเหตุฉุกเฉินที่เกิดขึ้นกับนักเรียนสืบเนื่องมาจากปัญหาการอพยพได้กลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับทั้งเจ้าหน้าที่โรงเรียนผู้ออกแบบอาคารเรียน โดยหากทำการก่อสร้างตามแบบแปลนมาตรฐานเท่านั้น จะไม่สามารถมั่นใจได้ว่าแบบแปลนของอาคารนั้นเหมาะสมกับพฤติกรรมการอพยพ ดังนั้นเพื่อค้นหาแผนการวางแผนที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอโมเดลการจำลองแบบ Agent-Based โดยใช้โปรแกรม Netlogo เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการอพยพและรูปแบบห้องเรียน เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการฝึกซ้อมดับเพลิง

และอพยพหนีไฟ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ารูปแบบห้องเรียนที่มีสองทางออกทำให้เวลาในการอพยพของนักเรียนสั้นลง และนักเรียนที่ทำตามคำแนะนำที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจะสามารถอพยพได้เร็ว การศึกษานี้ช่วยสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยในระหว่างกระบวนการอพยพ และในตอนท้ายของบทความนี้ได้เสนอวิธีการที่หลากหลายในการปรับปรุงแบบจำลองสถานการณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความซับซ้อนและเหมือนจริงมากขึ้นสำหรับการวิจัยในอนาคต

Tan, Hu and Lin (2015) กล่าวว่ามีการวิจัยเพียงไม่กี่งานที่รวมการรับรู้ของผู้อพยพ สิ่งอำนวยความสะดวกในช่วงสถานการณ์ฉุกเฉิน ดังนั้น เพื่อตรวจสอบอิทธิพลเฉพาะดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของการอพยพ ผู้ทำวิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อนำเสนอรูปแบบแบบจำลองแบบ ABS ซึ่งเป็นการศึกษาความรู้ของผู้อพยพรวมทั้งความรู้เชิงพื้นที่ของสภาพแวดล้อมที่อยู่หนึ่งในสถานการณ์ปกติและความรู้เหตุการณ์ของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่คาดการณ์ไว้ ด้วยการใช้แบบจำลองที่เสนอจะมีการจำลองสถานการณ์การอพยพหลายครั้งสำหรับกลุ่มผู้อพยพที่มีระดับความรู้แตกต่างกันระหว่างสถานการณ์การดับเพลิงสามแบบ ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองที่เสนอสามารถประเมินอิทธิพลที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ต่อประสิทธิภาพการอพยพ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความรู้ของผู้อพยพและที่ตั้งของสถานที่ปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบโมเดล ABS ร่วมกับพฤติกรรมกรรับรู้ของผู้อพยพเพื่อทำนายการอพยพ ดังแสดงในภาพที่ 2.10



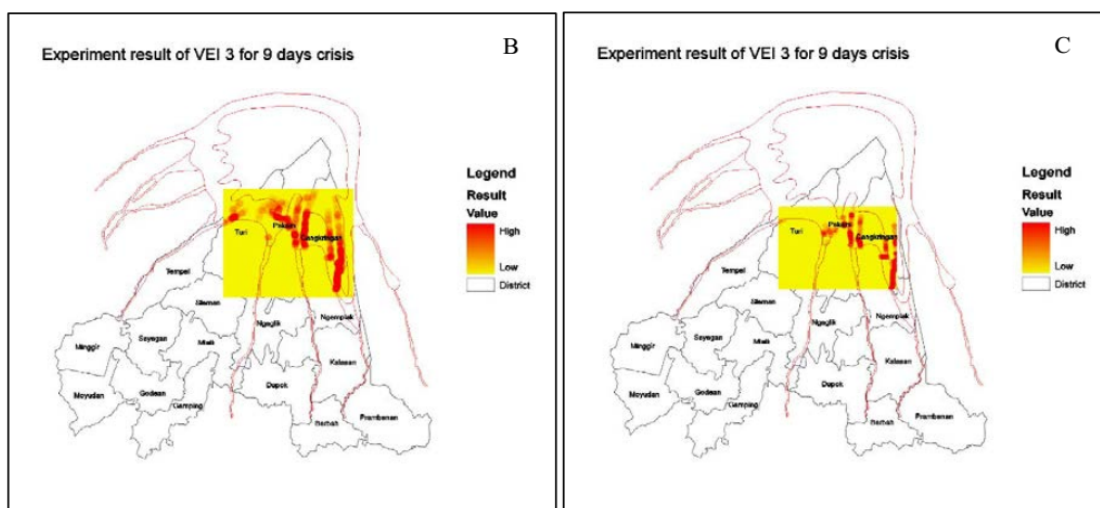
ภาพที่ 2.10 โมเดล ABS แสดงการทำงานร่วมกับพฤติกรรมกรรับรู้เพื่อทำนายการอพยพ
ที่มา: Tan Hu and Lin (2015)

Wagner and Agrawal (2014) กล่าวถึงความสำคัญของการเตรียมการสำหรับภัยพิบัติ หากมีการใช้มาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมล่วงหน้าผลกระทบที่เป็นอันตรายสามารถบรรเทาได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการประเมินผลและการเลือกมาตรการที่มีประสิทธิภาพเป็นเรื่องยาก เนื่องจากสถานการณ์จำลองหลายอย่างที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมฉุกเฉินส่วนใหญ่มาพร้อมกับค่าใช้จ่ายที่สูงมาก บทความนี้นำเสนอต้นแบบของคอมพิวเตอร์โดยหลักการ ABS เพื่อทำการจำลองและสนับสนุนการตัดสินใจในการอพยพของผู้คนในสถานการณ์ที่เกิดไฟไหม้และช่วยให้การทดสอบสถานการณ์ภัยพิบัติหลายอย่างโดยไม่มีค่าใช้จ่าย กรณีศึกษาที่ใช้คือ จำลองในสถานที่จัดคอนเสิร์ตในสนามกีฬา

ผลการศึกษานี้จะช่วยให้ผู้จัดงานสามารถกำหนดสถานที่จัดคอนเสิร์ตด้วยการจัดเรียงที่นั่ง ทางเดิน ทางเข้า ทางออก และจำนวนผู้คนเพื่อให้เกิดความปลอดภัย โดยในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้โปรแกรม Netlogo ร่วมกับ โปรแกรมภาษาจาวา เพื่อจำลองการอพยพ

Zhu and Shi (2016) กล่าวถึงการทำความเข้าใจพฤติกรรมมนุษย์ในการอพยพฉุกเฉินเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการปรับโครงสร้างการจัดการฝูงชนและการช่วยเหลือผู้อพยพในเหตุการณ์ไฟไหม้ จึงทำการศึกษาพฤติกรรมทางเลือกเส้นทางอพยพ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพในห้องเรียน โดยพิจารณาจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น ข้อมูลการได้ยินและแผนผังอาคาร ซึ่งผู้ทำวิจัยพบว่า ปัจจัยการวางผังอาคารมีผลมากกว่าการกระจายตัวของผู้อพยพในขั้นตอนเริ่มแรก การเคลื่อนที่ของฝูงชนมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเลือกบันไดของผู้อพยพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้อพยพอยู่ในเขตทัศนวิสัยที่ไม่ดี

Jumadi, Carver and Quincey (2016) กล่าวถึงวิกฤตการณ์ภูเขาไฟระเบิด ว่าการพัฒนาความสามารถของประชากรในการอพยพมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยง ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของผู้บริหารจัดการ ดังนั้น ผู้ทำวิจัยจึงเสนอวิธีการในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงของประชากรที่สามารถใช้ในการอพยพเพื่อเน้นความน่าจะเป็นของปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการอพยพ วิธีการในการวิจัยจะต้องอาศัยการจำลอง GIS-ABM ซึ่งการจำลองได้รับการพัฒนาจากความสัมพันธ์ระหว่างการระเบิดของภูเขาไฟ และประชากรที่อยู่โดยรอบ ตลอดทั้งผู้มีส่วนได้เสียภายในระบบ สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างของแอปพลิเคชันนี้ ได้พัฒนากรณีศึกษาการจำลองโดยใช้ โปรแกรม Anylogic ทั้งนี้มีตัวอย่างภาพที่ได้จากการจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 โมเดลการจำลองโดย Anylogic

ที่มา: Jumadi, Carver and Quincey (2016)

Caliendo, C. and et al. (2012) นำเสนอการวิจัยโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อเป็นตัวแทนของกระบวนการอพยพจากโค้งถนนอุโมงค์อิตาลี ในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ การจำลองได้ดำเนินการโดยใช้ โมเดล STEPS เพื่อจำลองการอพยพ ร่วมกับแบบจำลอง CFD จำลองการเกิดเพลิงไหม้

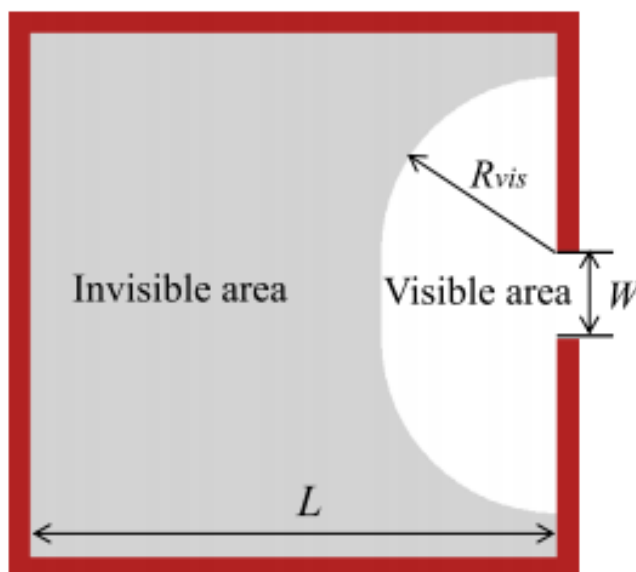
พบว่าเวลาอพยพได้รับอิทธิพลจากเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ออกจากอุโมงค์ และเวลาในการอพยพถูกทำให้ขยายจากเวลาก่อนการอพยพ (Pre-evacuation time) ในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา ทั้งนี้ การใช้ระบบเตือนภัยสามารถช่วยลดเวลาในการอพยพสำหรับผู้ใช้อุโมงค์ส่วนใหญ่ทำให้ผู้ใช้สามารถเดินทางไปยังทางออกอุโมงค์ได้อย่างปลอดภัย

Cai and et al. (2016) ได้ศึกษาถึงการแพร่กระจายควันไฟและการอพยพประชาชนในแบบจำลองรถไฟใต้ดิน โดยแบบจำลองรถไฟใต้ดินเป็นแบบจำลองที่สร้างบนซอฟต์แวร์ STEPS และสถานการณ์การอพยพถูกสร้างขึ้นโดยใช้สถานการณ์จำลองเป็นกรณีไฟไหม้โดยใช้ซอฟต์แวร์ FDS จากนั้นทำการจำลองการอพยพในสถานการณ์เพลิงไหม้ ใช้โปรแกรม FDS + Evac ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัย ได้มีการวิเคราะห์ผลลักษณะของควันไฟที่เกิดขึ้น และช่วยนำไปสู่การปรับปรุงทางด้านการประเมินความปลอดภัยจากอัคคีภัยในรถไฟใต้ดินด้วย

Wang and et al. (2017) ทำการจำลองไฟไหม้ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และการอพยพ โดยใช้กรณีศึกษาเป็นสนามยิงปืนในร่มในประเทศเกาหลีใต้ในปี 2009 จากผู้ใช้พื้นที่ 16 คน มีผู้เสียชีวิต 15 คน และอีก 1 คนรอดชีวิต โดยใช้วิธีการจำลองนี้เพื่อวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาตอบสนองของผู้อยู่อาศัยและอัตราการลุกลามของเปลวไฟเหนือผนังโพลียูรีเทนโฟม (PUF) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าไม่น่าเป็นไปได้ที่ทุกคนจะรอดชีวิตหากมีเวลาตอบสนองมากกว่า 5 วินาที นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าดินปืนที่ตกค้างบนผนัง PUF เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างการสูญเสียครั้งนี้ จำนวนผู้เสียชีวิตสามารถลดลงได้หากมีการออกแบบผนังให้มีความหนาลดลง การทำความสะอาดผนังยิงปืน หรือการห่อหุ้มผนัง PUF ด้วยวัสดุทนไฟ เป็นต้น

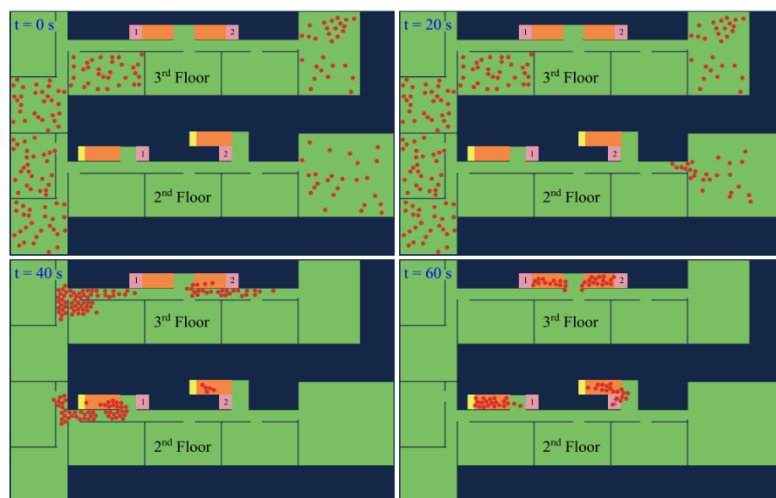
Ahn and et al. (2016) ทำการศึกษาโดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทั้งมนุษย์และโครงสร้างการอพยพ โดยใช้โมเดล ABS ทำการจำลองสถานการณ์แบ่งเป็นสามกรณีและสี่กลุ่ม แต่ละกรณีมีจำนวน Agent ที่แตกต่างกันและในแต่ละกรณีจากสี่กลุ่มแสดงระดับการรับรู้การไปสู่ทางออกที่แตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์ผลพบว่าความขัดแย้งของมนุษย์มีผลต่อระยะเวลาการอพยพทั้งหมด เช่นเดียวกับความขัดแย้งระหว่างสิ่งที่คุ้นเคยกับสิ่งที่ไม่คุ้นเคยที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างภายใน นอกจากนี้ ผู้ทบทวนยังได้แนะนำวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอพยพ โดยการกำหนดความกว้างที่เหมาะสมของทางออกที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง

Wang and Cao (2019) ได้ทำการศึกษากระบวนการอพยพภายใต้ทัศนวิสัยจำกัด (Limited Visibility) ด้วยตระหนักว่าการอพยพในสภาวะนี้ มีความแตกต่างจากการอพยพในช่วงที่ทัศนวิสัยดี ดังนั้น จึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการอพยพภายใต้ทัศนวิสัยที่จำกัด ด้วยรูปแบบที่ 1) การเคลื่อนที่แบบสุ่ม 2) การเคลื่อนที่ที่ตอนแรกไม่รู้ทาง แต่ต่อไปเป็นการเดินตามเพื่อนที่อยู่ใกล้ และ 3) เดินตามคนที่อยู่ใกล้สุด โดยศึกษาระยะเวลาการอพยพที่แตกต่างกันของคนที่ใช้กลยุทธ์ต่างกัน ซึ่งผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อพยพหรือผู้จัดการกิจกรรมสาธารณะในอาคารต่าง ๆ เพื่อจัดทำแผนการอพยพที่มีประสิทธิภาพภายใต้ทัศนวิสัยที่จำกัดต่อไป โดยแสดงการเคลื่อนที่ภายใต้ทัศนวิสัยที่จำกัดดังแสดงดังภาพที่ 2.12



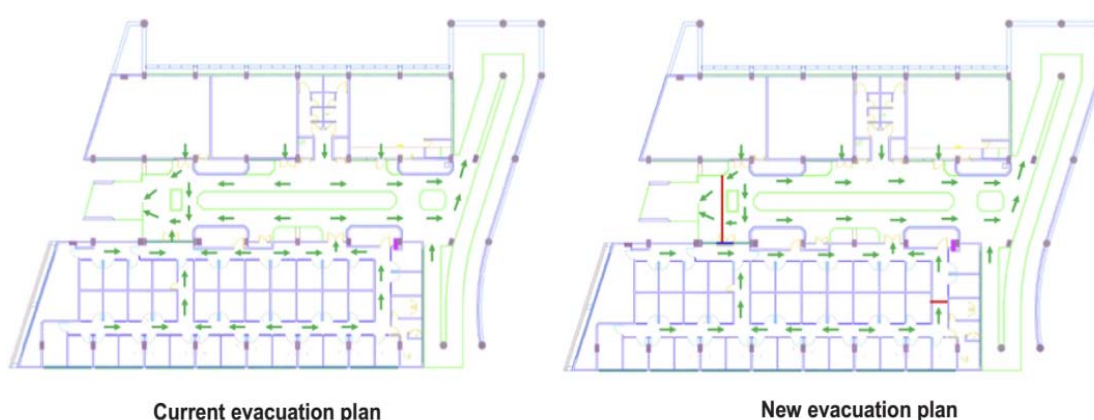
ภาพที่ 2.12 การเคลื่อนที่ภายใต้ทัศนวิสัยที่จำกัด
ที่มา: Wang and Cao (2019)

Poulos and et al. (2018) กล่าวว่า การอพยพจากอาคารเป็นสิ่งสำคัญในการลดจำนวนผู้เสียชีวิตเนื่องจากอันตรายจากธรรมชาติหรือมนุษย์ การสร้างแบบจำลองการอพยพช่วยในการเตรียมการสำหรับเหตุการณ์ในอนาคต และลดข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ของการออกแบบการอพยพในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาไม่ค่อยมีเปรียบเทียบหรือตรวจสอบกับการอพยพจริง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินผลการจำลอง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การอพยพของโรงเรียน K-12 (ระดับอนุบาลถึงระดับ 12) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเขตนํ้าท่วมคลื่นยักษ์สึนามิในประเทศชิลี โดยรูปแบบการจำลองการอพยพที่ใช้เป็นแบบ Agent-Based ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการอพยพของเด็กนักเรียนประมาณ 1,500 คน ทั้งนี้ตัวแบบจำลองการเคลื่อนไหวของตัวแทนมนุษย์และการจำลองได้รับการตรวจสอบ เป็นการใช้การวิเคราะห์วิดีโอของเหตุการณ์จริง ผลลัพธ์การประมาณข้อผิดพลาดระหว่างอัตราที่คาดการณ์กับที่วัดได้และเวลาในการอพยพอยู่ที่ 13.5% และ 5.9% ตามลำดับ ผลการจำลองและค่าที่วัดได้นี้ สามารถใช้สำหรับการปรับปรุงวางแผนฉุกเฉินต่อไป โดยในการศึกษานี้ ผู้ทำวิจัยได้ใช้โปรแกรม Netlogo ในการจำลองซึ่งมีตัวอย่างการแสดงผลดังภาพที่ 2.13



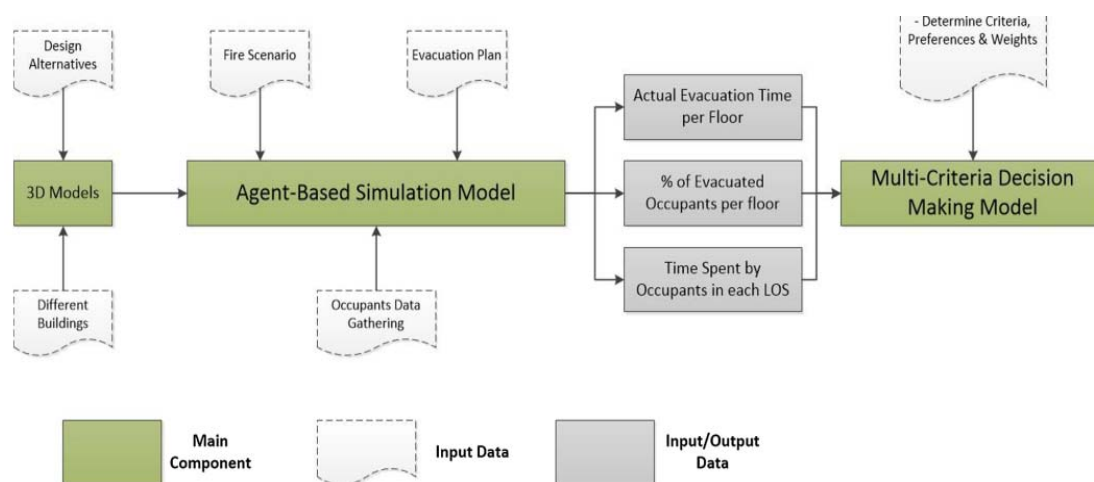
ภาพที่ 2.13 ภาพการจำลองการอพยพจากกรณีศึกษา Victoria building
ที่มา: Poulos and et al. (2018)

Kelly and et al. (2019) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการอพยพ โดยใช้กรณีศึกษาเป็น ห้องเรียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบแผนการอพยพโดยพิจารณาลักษณะของพฤติกรรมผู้อพยพ และกลยุทธ์การกำหนดเส้นทางหลายทางรวมกัน โดยวิธีการสร้างแบบจำลองของตัวเลือกแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้ Agent ที่ได้รับเลือก เพื่อแสดงถึงความแตกต่างในพฤติกรรมของผู้คน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้อพยพและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้แผนการอพยพที่นำเสนอในงานวิจัยนั้นเป็นการส่งสัญญาณเพื่อส่งเสริมให้คนไปใช้เส้นทางอื่นได้เมื่อเส้นทางที่กำหนดเดิมมีความแออัด ซึ่งแผนใหม่ที่ทำการศึกษา ยังเน้นความจำเป็นในการสร้างทางออกฉุกเฉินใหม่และการปรับเปลี่ยนโครงสร้างปัจจุบันของอาคาร โดยแสดงตัวอย่างการปรับปรุงเส้นทางอพยพใหม่ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แผนการอพยพที่ได้จากการจำลอง
ที่มา: Kelly and et al. (2019)

Marzouk and Mohamed (2019) อธิบายถึงสิ่งสำคัญในการประเมินระดับความปลอดภัยที่ได้รับจากโครงสร้างอาคารแก่ผู้อยู่อาศัย โดยการใช้ตัวชี้วัดเชิงคุณภาพมีแนวโน้มที่จะครอบคลุมการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีอำนาจตัดสินใจ ดังนั้นเกณฑ์การประเมินเชิงปริมาณจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การอพยพดำเนินไปได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการที่มีทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อประเมินประสิทธิภาพการอพยพของอาคาร โดย Marzouk และ Mohamed ได้ทำงานวิจัยโดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดให้กับผู้อยู่อาศัยทางด้านการความปลอดภัย โดยใช้เครื่องมือทางด้าน Multi-Criteria Decision Making (MCDM) เข้ามาผสมผสาน ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการพัฒนารอบการตัดสินใจแบบหลายทางเลือก ที่รวมการสร้างแบบจำลอง 3 มิติกับ Agent-Based Simulation (ABS) และการใช้เครื่องมือ MCDM เป็นตัวสนับสนุน ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินประสิทธิภาพการอพยพโดยรวม โดยคำนึงถึงปัจจัยและเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอพยพ โดยผู้ทำวิจัยได้แนะนำว่าแนวทางเหล่านี้บริษัทประกันภัยสามารถใช้เพื่อจัดอันดับอาคารที่ต้องการการประกันภัยได้ นอกจากนี้ นักออกแบบยังสามารถนำไปใช้ในการประเมินสิ่งต่าง ๆ และออกแบบทางเลือกเพื่อเลือกตัวเลือกที่ดีที่สุดหรือประเมินผลการปฏิบัติงานของแผนการอพยพที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้กรณีศึกษานี้ได้ดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดวิจัย สามารถแสดงได้ในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กรอบแนวคิดการวิจัยการผสมผสาน ABS กับ MCDM
ที่มา: Marzouk and Mohamed (2019)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเครื่องมือ MCDM มาผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟและแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน

มีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับปัญหาการจำลองการเกิดไฟไหม้ และการจำลองการอพยพในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถทำการพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ตามเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ 1) กลุ่ม Simulation Modelling 2) กลุ่ม Optimization และ 3) กลุ่มเทคนิค MCDM ในการวิเคราะห์ทางเลือกในช่วงการเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังในตารางที่ 2.6

สำหรับงานวิจัยที่ใช้เครื่องมือทางด้าน Simulation Modelling พบว่ามีการศึกษาที่เน้นเกี่ยวกับรูปแบบและพฤติกรรมของการเกิดไฟในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น Deckers and et al. (2013) ได้ทำการจำลองการเกิดไฟในพื้นที่ลานจอดรถโดยทำการศึกษาระบบการควบคุมควันไฟและความร้อนจากการใช้การระบายอากาศเชิงกลในแนวนอน นอกจากนี้ Suard and et al. (2015) ได้พัฒนาแบบจำลองการลุกลามของไฟผ่านทางช่องประตู โดยทำการทดลองในพื้นที่ปิดขนาดเล็ก ส่วน Zhao, Beji and Merci (2017) ทำการศึกษาโดยวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันไฟในปล่องบันไดในตึกสูง และเมื่อไม่นานมานี้ Huang, Chen and Zhang (2020) ได้พัฒนาแบบจำลองพลวัตของการเกิดไฟเพื่อวิเคราะห์การตรวจจับการเกิดไฟไหม้ในห้องทั่วไปภายใต้สถานการณ์ไฟต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยข้างต้นเป็นการศึกษาการเกิดเพลิงไหม้เพียงอย่างเดียว ซึ่งอยู่ในระยะ Preparedness phase ของ การวางแผนฉุกเฉิน ซึ่งขาดมุมมองในการวิเคราะห์และวางแผนหลังการเกิดเหตุฉุกเฉินจากไฟไหม้ เช่นในระยะ Response phase และ Recovery phase

นอกจากนี้ พบว่าม้งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับรูปแบบการจำลองการอพยพในสถานการณ์ต่าง ๆ ในช่วง Response phase หลังการเกิดเหตุฉุกเฉินแล้ว เช่นกัน เช่น Ding and et al. (2015) ทำการศึกษากลยุทธ์การอพยพแบบผสมผสานทั้งการใช้บันไดและลิฟท์สำหรับอาคารสูง นอกจากนี้ Liu, Jiang and Shi (2016) ได้พัฒนาแบบจำลองแบบตัวแทน โดยใช้โปรแกรม Netlogo เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการอพยพและแบบแปลนของห้องเรียน เมื่อไม่นานมานี้ Wu and Mizuno (2019) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองแบบพลวัตของการอพยพคนจำนวนมากจากอาคารสูงพิเศษโดยใช้แบบจำลอง Control volume model และ Chen and et al. (2020) ได้จำลองพลศาสตร์ของฝูงชน (Crowd dynamics) โดยใช้กรณีศึกษาของการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟใต้ดิน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์รูปแบบการเกิดเหตุฉุกเฉินที่แตกต่างกันร่วมด้วย ซึ่งขาดการบูรณาการการวางแผนรวมกับการวางแผนในช่วงก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน

นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ทำการผสมผสานการศึกษาทั้งการจำลองไฟไหม้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัญหาในช่วง Preparedness phase ก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน ร่วมกับการจำลองการอพยพหนีไฟ ซึ่งเป็นปัญหาในช่วง Response phase หลังการเกิดเหตุฉุกเฉินเข้าด้วยกัน เช่น Tang and Ren (2012) สร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟในอาคารซึ่งมีการศึกษาตัวแปรที่หลากหลาย เช่น สภาพแวดล้อมอาคารผู้อพยพ และเชื้อเพลิง โดยผสมผสานการศึกษาเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในแบบจำลองด้วย นอกจากนี้ Yang, Li and Chen (2013) ได้ศึกษากระบวนการเกิดเพลิงไหม้และการอพยพที่สถานีรถไฟใต้ดินเพื่อประเมินอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อการอพยพฉุกเฉินกรณีเกิดไฟไหม้ และเมื่อไม่นานมานี้ Tsang, Fong and Chow (2020) ได้วิเคราะห์การเกิดอัคคีภัยและการอพยพสำหรับกรณีที่มีผู้อพยพจำนวนมาก (High occupant loads) ของ Rock cavern ในฮ่องกง อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยข้างต้นยังคงมีอยู่จำกัด และไม่ได้มีการใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ทางเลือกในการอพยพไปยังจุดที่ปลอดภัยร่วมด้วย

สำหรับงานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งเป็นการเน้นที่เครื่องมือทางด้าน Optimization modeling โดยนักวิจัยบางกลุ่มทำการศึกษาปัญหาทางด้าน Path Planning เช่น Feng and Miller-Hooks (2014) ทำการศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธี Network optimization-based เพื่อวิเคราะห์กระบวนการอพยพที่มีประสิทธิภาพ สำหรับเหตุการณ์อุบัติเหตุขนาดใหญ่ โดยได้ทำการพัฒนา Bi-level integer program

เพื่อลดเวลาในการเดินทางทั้งหมด (Total travel time) ที่เกิดขึ้นของผู้อพยพ นอกจากนี้ Verbas and et al. (2016) ทำการพัฒนารูปแบบการผสมผสาน Optimization–simulation สำหรับปัญหาการอพยพที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้ Optimization model ในการวิเคราะห์ Group size และ Departure time ภายใต้อำนาจด้านความจุของผู้อพยพ จากนั้นใช้ Simulation model ในการ จำลองผลสำหรับเส้นทางการอพยพของแต่ละคนในเครือข่าย นอกจากนี้มีนักวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับปัญหาทางด้าน Exit/route choice เช่น Shen, Wang and Jiang (2018) ศึกษาการผสมผสานของกลยุทธ์ (Mixture of strategies) ในการหาทางออกเพื่อลดเวลาในการอพยพ ส่วน Haghani and Sarvi (2019) ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการอพยพโดยรวม โดยใช้การระบุจุดอ้างอิงในระดับจุลภาคและระดับมหภาค ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการอพยพในระดับบุคคลจะขึ้นอยู่กับระดับความแออัดที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ มีการศึกษาเกี่ยวกับ Exit location เช่น Shao and Yang (2015) ได้วิเคราะห์ผลกระทบของตำแหน่งทางออก (Exits) โดยเสนอกลยุทธ์ที่ในการอพยพออกจากพื้นที่ปิด โดยได้เสนอแนะว่าการวางตำแหน่งทางออกในบริเวณมุม เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอพยพ นอกจากนี้การวางตำแหน่งทางออกไว้บริเวณมุม เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการอพยพโดยรวม และเมื่อไม่นานมานี้ พบว่ามีงานวิจัยที่ใช้ เครื่องมือด้าน MCDM มาใช้ในการศึกษาปัญหาทางด้านการจัดการเหตุฉุกเฉินด้วยเช่นกัน เช่น Marzouk and Al Daour (2018) ทำการจำลองการอพยพของคนงานก่อสร้างภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ โดยมีการใช้การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) คือวิธีการ The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) เพื่อช่วยในการเลือกทางเลือกการอพยพจากการก่อสร้างที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม นอกจากงานวิจัยทางด้าน MCDM ในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดการเหตุฉุกเฉินจะมีอยู่อย่างจำกัดแล้ว การบูรณาการกับเครื่องมือทางด้าน Simulation model ก็ยังมีอยู่อย่างจำกัดด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา

Existing studies	Simulation model		Optimization model			Multi-Criteria Decision Making
	Fire	Evacuation	Path Planning	Exit/route choice	Exit location	
Tang and Ren (2012)	✓	✓				
Deckers et al. (2013)	✓					
Yang, Li and Chen (2013)	✓	✓				
Feng and Miller-Hooks (2014)			✓			
Ding and Zeng (2015)		✓				
Shao and Yang (2015)					✓	
Suard et al. (2015)	✓					
Tan, Hu and Lin (2015)		✓				
Liu, Jiang and Shi (2016)		✓				
Verbas et al. (2016)		✓	✓			
Cassol et al. (2017)			✓			
Lu et al. (2017)	✓					
Zhao, Beji and Merci (2017)	✓					
Hong, Gao and Zhu (2018)		✓				
Li et al. (2018)	✓	✓				
Liu et al. (2018)			✓			
Marzouk and Al Daour (2018)						TOPSIS
Kasereka et al. (2018)	✓	✓				
Shen, Wang and Jiang (2018)				✓		
Taneja and Bolia (2018)			✓			
Haghani and Sarvi (2019)				✓		

ตารางที่ 2.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา (ต่อ)

Existing studies	Simulation model		Optimization model			Multi-Criteria Decision Making
	Fire	Evacuation	Path Planning	Exit/route choice	Exit location	
Lin, Cao and Li (2019)				✓		
Rozo et al. (2019)		✓				
Shin, Kim and Moon (2019)			✓			
Wu and Mizuno (2019)		✓				
Zhang et al. (2019)	✓					
Chen et al. (2020)		✓				
Huang, Chen and Zhang (2020)	✓					
Tsang, Fong and Chow (2020)	✓	✓				
Wang et al. (2020)	✓					
This study	✓	✓				IEW/TOPSIS

2.7 สรุปประเด็นที่ได้จากการศึกษาที่จะใช้ในงานวิจัย

จากการทำการศึกษาและวิเคราะห์งานวิจัยในการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางด้านการวิเคราะห์การตัดสินใจร่วมกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) สำหรับงานวิจัยในปัจจุบันทางด้านปัญหาการจัดการและวางแผนการอพยพ สามารถสรุปประเด็นต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งอธิบายความได้ดังนี้

จากการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการจัดการทรัพยากรว่าเหมาะสมหรือไม่ พบว่าการใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Development Analysis (DEA) เป็นเครื่องมือที่มีความนิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการในหน่วยงานต่าง ๆ ตามการวิเคราะห์ของปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่หลากหลาย (ประสพชัย พสุนนท์, 2551; บุปพวรรณ พัวพันธ์ประเสริฐ, 2553; สวรินทร์ ประดิษฐ์อุกฤษฎ์ และคณะ, 2556; นิศากร สมสุข, 2557, Ransikarbum and et al., 2017; นิรุทธิ์ วัฒนะแสง และคณะ, 2561) ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการประยุกต์ใช้เครื่องมือ DEA ในงานทางด้านการจัดการความปลอดภัยยังมีอยู่อย่างจำกัดทั้งในงานวิจัยระดับชาติของไทยและระดับนานาชาติ นอกจากนี้ยังไม่พบว่ามีกรณีศึกษาในการใช้ DEA เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดการอัตรากำลังของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมในไทยมาก่อน โดยผล

จากการศึกษาทางด้านนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานด้านการพัฒนาประสิทธิภาพของการบริหารจัดการอัคคีภัยในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศและการสืบค้นงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการวางแผนการอพยพหนีไฟ (Fire Evacuation) โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulation Modeling) พบว่างานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการอพยพหนีไฟที่มีอยู่ในประเทศไทยยังมีน้อยมาก (วัฒนา จันทะโคตร และคณะ, 2561) นอกจากนี้ ถึงแม้จะเริ่มมีแนวโน้มที่มากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พบว่าการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการเป็นไปในลักษณะที่มีการกระจุกตัวอยู่ในบางกลุ่มวารสารและบางกลุ่มสาขาวิชาการของนักวิจัยเท่านั้น โดยพบว่ามีการศึกษาในรูปแบบของทั้งในอาคารและนอกอาคารในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้งานวิจัยในระดับนานาชาติ พบว่าสืบเนื่องจากระดับการเกิดเหตุฉุกเฉินที่รุนแรงมากขึ้นและจำนวนการเกิดเหตุที่มากขึ้น ทำให้การศึกษากการวางแผนการจัดการเหตุฉุกเฉินยังคงเป็นสิ่งจำเป็น

ในส่วนของงานวิจัยในต่างประเทศ พบว่ามีการประยุกต์ใช้เครื่องมือ Agent Based Simulation (ABS) ในหลากหลายสาขา แต่ยังคงมีอยู่น้อยในการศึกษาการอพยพ ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมของผู้อพยพเหมาะกับการใช้ ABS ในการศึกษา นอกจากนี้สังเกตได้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษามักจะเป็นอาคารเรียน และพื้นที่ชุมนุมคน เช่นสถานีรถไฟใต้ดิน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำ ABS มาประยุกต์ใช้กับสถานที่ปฏิบัติงานที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความเสี่ยงสูง

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้มีการบูรณาการช่องว่างของการศึกษาที่ผ่านมา โดยสามารถ ระบุส่วนสำคัญของการศึกษานี้ได้ดังนี้

งานวิจัยนี้เป็นการผสมผสานการจำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินจากไฟไหม้ ร่วมกับการจำลองการอพยพหลังการเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยทำการจำลองการเกิดไฟไหม้ในตำแหน่งที่แตกต่างกันในอาคาร และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทัศนวิสัยในการมองเห็น (Visibility) ที่ได้จากการจำลองการเกิดไฟไหม้ เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองการอพยพต่อไป

งานวิจัยที่จำลองเกี่ยวกับการอพยพในปัจจุบันยังมีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้พบงานวิจัยที่มีอยู่ไม่ได้มีการพิจารณาลักษณะของผู้อพยพที่แตกต่างกันร่วมด้วย โดยในงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาลักษณะของผู้อพยพที่ต่างกัน โดยวิเคราะห์กรณีที่ผู้อพยพที่มีการรับรู้การเกิดเหตุฉุกเฉินที่ต่างกัน กรณีที่ผู้อพยพเป็นผู้พิการ และกรณีที่ความหนาแน่น (Density) ของ ผู้อพยพ ในอาคารแตกต่างกัน

งานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ได้มีการพิจารณาการบูรณาการใช้เครื่องมือ Evacuation simulation modelling ร่วมกับเครื่องมือทางด้าน MCDM โดยในงานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิค IEW ร่วมกับ TOPSIS ซึ่งเป็นเครื่องมือทางด้าน MCDM เพื่อวิเคราะห์จุดรวมพลที่เหมาะสมสำหรับการอพยพ โดยเป็นการพิจารณาการอพยพจากภายในอาคารไปนอกอาคาร เพื่อผสมผสานเข้ากับ แบบจำลองการอพยพที่พัฒนาขึ้น

ในขณะที่งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้กรณีศึกษาสมมุติในการศึกษาปัญหาทางด้านการเกิดไฟไหม้ หรือการอพยพ เป็นส่วนใหญ่ การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเกิดไฟไหม้ร่วมกับปัญหาการอพยพ โดยใช้กรณีศึกษาจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ แบบแปลนอาคาร และเก็บข้อมูลอ้างอิงจากทางบริษัทที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 2.7 สรุปประเด็นช่องว่างในงานวิจัย

ประเด็นช่องว่างในงานวิจัย	ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้
1) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการศึกษาการอพยพและการเผยแพร่ในงานวิจัยในวารสารและงานประชุมทางวิชาการในไทยยังมีอยู่จำกัด	งานวิจัยทางด้านนี้ยังมีความน่าสนใจในการทำอยู่ เนื่องจากการทำและเผยแพร่ยังมีอยู่จำกัด โดยควรมีการเน้นที่กรณีศึกษาจริง
2) รูปแบบการจำลองของกรณีศึกษาส่วนใหญ่ที่พบเป็นการศึกษาในอาคารเรียน และอาคารทั่ว ๆ ไป	การจำลองการศึกษาในอาคาร ยังมีความน่าสนใจ เนื่องจากเป็นพื้นที่ปิดล้อม เก็บกักควันทวีไฟและมีอุปสรรคในการอพยพ เนื่องจากมีทางออกที่จำกัด
3) งานวิจัยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด	นำเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลมา (DEA) มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์คี ภัยสำหรับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย
4) แนวทางการวิจัยที่ผ่านมา เน้นการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่แยกกันและไม่ครอบคลุม	การผสมผสานเครื่องมือในงานวิจัยที่หลากหลาย มีความน่าสนใจมากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ เป็นการวางแผนการบูรณาการเครื่องมือด้าน MCDM โดยใช้ IEW และ TOPSIS ร่วมกับเครื่องมือด้านแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้ FDS และ ABS รวมถึงการวิเคราะห์ผลโดยใช้ เครื่องมือทางสถิติในการทดสอบ
5) งานวิจัยส่วนใหญ่ไม่มีการตั้งและทดสอบสมมติฐานในการทดลอง	เพื่อให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น แนวทางการวิจัยในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ โดยใช้สถิติ ANOVA ในการเปรียบเทียบผลการจำลอง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการดำเนินการศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลทางวิชาการ และงานวิจัยต่าง ๆ สำหรับใช้ในการออกแบบการทดลองและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เริ่มต้นการศึกษาภาพรวมโดยการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการจัดการอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทย ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDM) โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) หลังจากนั้นทำการเลือกกรณีศึกษา โดยในการศึกษานี้ใช้พื้นที่อาคารโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ามาเป็นกรณีศึกษา หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาทางเลือกจุดรวมพลที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS แล้วทำการเก็บข้อมูลทางด้านกายภาพของอาคาร (Building Characteristic) และลักษณะของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในอุตสาหกรรม (Fire Characteristic) เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมเครื่องมือทางด้าน FDS เพื่อทำการจำลองสถานการณ์การเกิดไฟไหม้ในอาคารโรงงาน และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไฟไหม้ และมีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้อาคาร (Occupant Characteristic) เพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าสู่เครื่องมือ ABS เพื่อทำการจำลองสถานการณ์ในการอพยพและศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างทำการอพยพของประชากรที่ศึกษา

หลังจากการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แล้ว เพื่อให้โมเดลมีความน่าเชื่อถือ จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล (Model verification and validation) โดยการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวที่เครื่องมือแสดงผลออกมา เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงและมีความสมเหตุสมผล หลังจากนั้นจะมีการสร้างสถานการณ์ฉุกเฉินจำลอง (Emergency case base scenarios) ไว้สำหรับเพื่อการศึกษาเปรียบเทียบแผนการและทางเลือกของการอพยพ รวมทั้งผลลัพธ์ของการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉิน และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวิจัยโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ (ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างของแผนจากแต่ละนโยบายการอพยพในแต่ละสถานการณ์ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในบทนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อนำเสนอ ดังนี้

3.1 การออกแบบการวิจัยพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์ สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม

3.3 การวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

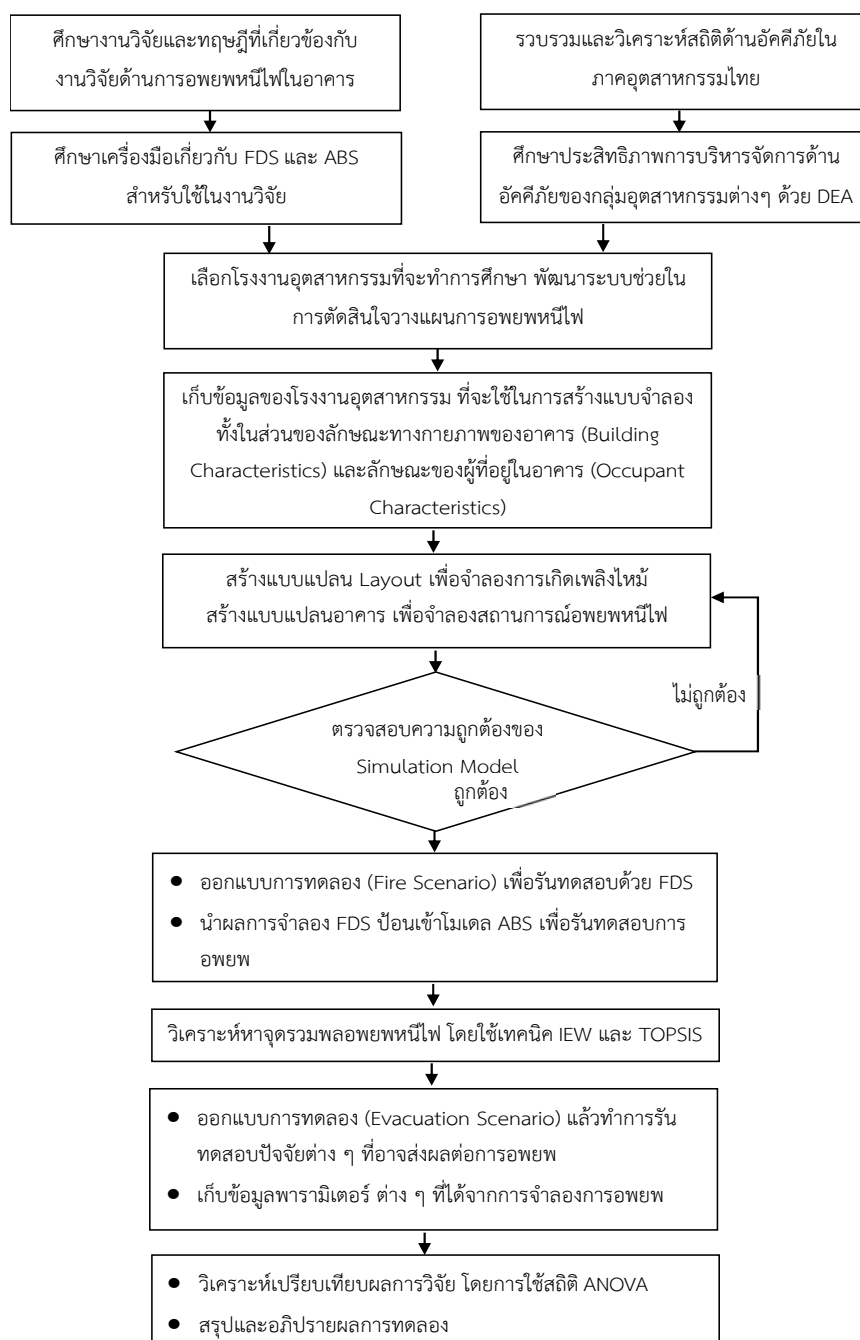
3.3 การวิเคราะห์จุดรวมพลอพยพหนีไฟโดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS

3.4 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

3.5 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพ

3.1 การออกแบบการวิจัยพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์ สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม

ในการศึกษานี้เริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พร้อมไปกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดการด้านอัคคีภัยในภาคอุตสาหกรรมไทย ดำเนินการตามขั้นตอนการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 3.1 จนไปถึงการวิเคราะห์สถิติ สรุปและอภิปรายผลการทดลอง



ภาพที่ 3.1 การออกแบบการวิจัยพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ สำหรับการวางแผนการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม

3.2 การวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิคด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย โดย DEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพสำหรับปัญหาที่มีทางเลือกจำกัด (Discrete Alternative) และไม่มีสมการข้อจำกัดชัดเจน (implicit Constraints) DEA เป็นวิธีการที่ตัดสินใจ (Decision Making) โดยใช้ปัจจัยหรือ Criteria ที่แบ่งได้เป็นปัจจัยเชิงนำเข้า (Input Criteria) และปัจจัยเชิงผลลัพธ์ (Output Criteria)

โดยรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ของ DEA มีสองโมเดลหลัก ๆ ตามชื่อผู้พัฒนาโมเดล DEA คือ โมเดล Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) และ Banker, Charnes and Cooper (BCC) ซึ่งสามารถแสดงได้ว่าทั้งสองโมเดลนี้สามารถถูกแปลงให้อยู่ในรูปของโมเดลโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming: LP) และสามารถหาคำตอบได้ด้วยโปรแกรม Excel Solver หรือ LINDO หรือโดยใช้ Software อื่น ๆ ที่สามารถแก้โมเดลโปรแกรมเชิงเส้นตรงได้

DEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของทางเลือก ของหน่วยทางเลือกต่าง ๆ (Decision Making Unit: DMU) ที่ให้ความสนใจ เช่น ประสิทธิภาพของการดำเนินงานของหน่วยงาน ประสิทธิภาพการลงทุน เป็นต้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากปัจจัยนำเข้าหรือการผลิต (Input) และปัจจัยผลผลิต (Output) ของเรื่องที่ศึกษา โดยประเมินประสิทธิภาพจากสมการ (3.1) (กลิน รังสิกรรพม, 2560)

$$\text{ประสิทธิภาพ (Efficiency)} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย เทคนิค DEA ที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยมีสองโมเดลหลัก ๆ ซึ่งเรียกตามชื่อผู้พัฒนาคือ CCR และ BCC ซึ่งอธิบายโมเดล CCR ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ดังนี้

3.2.1 แบบจำลอง CCR

CCR model เป็นแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ (Constant Return to Scale: CRS) ใช้เมื่อ DMU ที่พิจารณาทุก DMU มีขนาดการผลิตที่เหมาะสม คือ ต้นทุนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด และมีเงื่อนไขว่าจะไม่มีค่าสังเกตใดที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 1 กล่าวคือคะแนนประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าหน่วยงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าหน่วยงานแห่งนั้นไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับ DMU อื่น ๆ ดังแสดงในสมการข้อจำกัด (3.2)-(3.5) ดังต่อไปนี้

เซต (Set)

I คือ เซตปัจจัยการผลิต i

J คือ เซตปัจจัยผลผลิต j

K คือ เซตทางเลือกหรือ DMUs

พารามิเตอร์ (Parameter)

$x_{i,k}$ คือ ปริมาณของปัจจัยการผลิต i ของทางเลือก k

$y_{j,k}$ คือ ปริมาณของปัจจัยผลผลิต j ของทางเลือก k

ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variable)

U_i คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยการผลิต i

V_j คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยผลผลิต j

$$\text{Maximize Efficiency } \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i} \quad (3.2)$$

$$\text{Subject to } \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k} U_i} \leq 1 \quad ; \forall k \in K \quad (3.3)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (3.4)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (3.5)$$

ทั้งนี้โมเดลข้างต้นไม่ได้อยู่ในรูปโปรแกรมเชิงเส้นตรง โดยสามารถแปลงให้อยู่ในรูปโปรแกรมเชิงเส้นตรงหรือ linear programming ได้โดยกำหนดให้ $\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1$ ดังแสดงในสมการข้อจำกัดตั้งโมเดลในสมการ (3.6) - (3.10) ดังต่อไปนี้

$$\text{Maximize Efficiency } \sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j \quad (3.6)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1 \quad (3.7)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j - \sum_{i \in I} x_{i,k} U_i \leq 0 \quad ; \forall k \in K \quad (3.8)$$

$$U_i \geq 0 ; \forall i \in I \quad (3.9)$$

$$V_j \geq 0 ; \forall j \in J \quad (3.10)$$

3.2.2 แบบจำลอง BCC

BCC Model เป็นแบบจำลองภายใต้สมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (Variable Return to Scale: VRS) โดยแบบจำลองนี้สามารถใช้ได้กับ DMUs ที่มีขนาดการผลิตที่ไม่เหมาะสม ดังแสดงในโมเดลจากสมการ (3.11) – (3.15) โดยมีตัวแปรคือ λ_k สำหรับแต่ละทางเลือก k ใด ๆ

$$\text{Minimize Efficiency } \theta \quad (3.11)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{k \in K} \lambda_k x_{i,k} \leq \theta x_{i,k_0} \quad ; \forall i \in I \quad (3.12)$$

$$\sum_{k \in K} \lambda_k y_{i,k} \geq y_{i,k_0} \quad ; \forall j \in J \quad (3.13)$$

$$\sum_k \lambda_k = 1 \quad (3.14)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad (3.15)$$

ทั้งนี้ ในกรณีที่มีการศึกษากรณีที่ขนาดการผลิตไม่เหมาะสมว่าเป็นลักษณะของการที่มีผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Return to Scale: IRS) หรือผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decreasing Return to Scale: DRS) สามารถทำการวิเคราะห์ต่อโดยใช้ Scale Efficiency (SE) ได้ ซึ่งเป็นการใช้ผลที่ได้ของโมเดล CCR และ BCC ดังแสดงในสมการที่ (3.16)

$$\text{Scale Efficiency (SE)} = \frac{\text{Efficiency CCR}}{\text{Efficiency BCC}} \quad (3.16)$$

3.3 การวิเคราะห์จุดรวมพลอพยพหนีไฟโดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS

ในการพิจารณาเลือกจุดรวมพล มีหลายปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา เพื่อทำการตัดสินใจเลือกจุดรวมพลที่เหมาะสม สำหรับรองรับสถานการณ์ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจริง เช่น ขนาดที่เหมาะสมต่อการรองรับจำนวนผู้อพยพ ความสามารถในการเข้าถึง ระยะทางจากจุดที่เกิดเหตุ เป็นต้น นอกจากนี้จุดรวมพลควรอยู่ในระยะที่ห่างไกลจากจุดที่เกิดเหตุ เพื่อให้ผู้อพยพไปแล้วจะอยู่ไกลจากอิทธิพลของความร้อนและควันไฟ ตลอดทั้งเศษซากวัสดุอาคารที่อาจเกิดการพังทลาย โดยการพิจารณาจุดรวมพลควรคำนึงถึงโอกาสในการจะเจอกับความเสี่ยงภัยอื่น ๆ ด้วยเพื่อให้มั่นใจว่าการอพยพ สามารถดำเนินได้อย่างปลอดภัย (Kerry fire and rescue service, 2020: Website; Fire Action, 2020: Website) โดยการศึกษาในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกจุดรวมพล ด้วยเทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) ร่วมกับการวิเคราะห์ทางเลือกของจุดรวมพลด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลป้อนสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการอพยพ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

3.3.1 เทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี

ในการวิเคราะห์ปัจจัย สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือที่หลากหลาย ซึ่งโดยปกติ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของปัจจัยต่าง ๆ อาจถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญโดยอาศัยประสบการณ์ เช่นวิธีการนับของ บอร์ด (Borda Count) หรือ วิธี AHP (Ponatong and et al., 2018) เป็นต้น ซึ่งการใช้วิจารณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญอาจทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ขึ้นอยู่กับความดีความชอบของบุคคล อย่างไรก็ตาม ได้มีนักวิจัยที่แนะนำให้หลีกเลี่ยงการให้ค่าน้ำหนักโดยใช้ความรู้สึกเพื่อลดความลำเอียงที่อาจเกิดขึ้น โดยวิธีการ IEW เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว (Huang, 2008; Zeng and et al., 2019) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแสดงขั้นตอนของวิธีเอนโทรปี (Information Entropy Weight: IEW) ได้ดังสมการที่ (3-17) - (3-20)

ขั้นตอนที่ 1: ปรับสเกลเมตริกซ์การตัดสินใจ (Normalize decision matrix) เรียกว่าค่าโปรเจกชัน (projection value - p) โดย x_{ij} แสดงข้อมูลการทำการตัดสินใจใด ๆ สำหรับทางเลือก $i = 1, \dots, m$ และปัจจัย $j = 1, \dots, n$ ดังแสดงในสมการที่ (3.17)

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (3.17)$$

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า Entropy: e สำหรับแต่ละปัจจัย $j = 1, \dots, n$ ดังแสดงในสมการ (3.18)

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3.18)$$

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณค่าระดับความแตกต่าง (Degree of divergence: div) ของแต่ละปัจจัย j ดังแสดงในสมการที่ (3.19) โดยแสดงถึงความเข้มข้นของข้อมูล ซึ่งยิ่งมีค่ามาก แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ ยังมีความสำคัญมาก

$$div_j = 1 - e_j \quad (3.19)$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย ดังแสดงในสมการที่ (3.20)

$$w_j = \frac{div_j}{\sum_{j=1}^n div_j} \quad (3.20)$$

3.3.2 เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ

เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Yoon and Hwang (1995) โดยเป็นวิธีที่อาศัยการตัดสินใจเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม โดยใช้หลักการเลือกทางเลือกจากระยะใกล้ที่สุดของแนวคิดในเชิงบวก (Positive Ideal Solution: PIS) และระยะใกล้ที่สุดของแนวคิดในเชิงลบ (Negative Ideal Solution: NIS) โดยเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดอันดับตัวเลือกที่เป็นไปได้ (Behzadian and et al., 2012) โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ โดยทำการปรับสเกล (r_{ij}) เพื่อเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นแบบไม่มีหน่วย (Unitless) และสามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปัจจัยที่แตกต่างกันได้ ดังสมการที่ (3.21)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3.21)$$

ขั้นตอนที่ 2: จากข้อมูลน้ำหนักของปัจจัยที่ได้จากสมการที่ (3.20) และข้อมูลการทำการตัดสินใจที่ได้ทำการปรับสเกลแล้วในสมการที่ (3.21) ทำการสร้างเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักแล้วโดยหาค่า ' v_{ij} ' ดังแสดงในสมการที่ (3.22)

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (3.22)$$

ขั้นตอนที่ 3: ทำการคำนวณค่าคำตอบในอุดมคติทางบวกซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Positive Ideal Solution: PIS) แทนด้วย A^* และคำนวณคำตอบในอุดมคติทางลบซึ่งเป็นคำตอบที่แย่ที่สุด (Negative Ideal Solution: NIS) แทนด้วย A' ดังแสดงในสมการที่ (3.23) และ (3.24) โดย J คือ เซตของปัจจัยแบบที่ยิ่งค่ามากยิ่งดี ส่วน J' คือเซตของปัจจัยแบบที่ยิ่งค่าน้อยยิ่งดี

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} ; v_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}) & \text{if } j \in J \\ \min(v_{ij}) & \text{if } j \in J' \end{cases} \quad (3.23)$$

$$A' = \{v_1', \dots, v_n'\} ; v_j' = \begin{cases} \min(v_{ij}) & \text{if } j \in J \\ \max(v_{ij}) & \text{if } j \in J' \end{cases} \quad (3.24)$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณตัววัดการแยก (Separation Measure) สำหรับแต่ละทางเลือก โดยหาค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') ดังแสดงในสมการที่ (3.25) และ (3.26) ตามลำดับ

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.25)$$

$$S_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2} \quad (3.26)$$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (Relative Closeness) ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด สำหรับแต่ละทางเลือก แทนด้วย ' C_i^* ' ดังแสดงในสมการที่ (3.27) และ (3.28) โดยค่าที่ได้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่ง 0 แสดงค่าทางเลือกที่แย่ที่สุด โดยความหมายคือเป็นทางเลือกที่ไกลจาก PIS และใกล้ NIS ที่สุด ในขณะที่ 1 แสดงถึงทางเลือกที่ดีที่สุด โดยความหมายคือเป็นทางเลือกที่ใกล้ PIS และไกล NIS มากที่สุด โดยสามารถทำการจัดอันดับ (Ranking) ของทางเลือกได้ตามลำดับ

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i^* + S_i'} \quad (3.27)$$

$$C_i^* = \begin{cases} 1 & \text{if } A_i = A^* \\ 0 & \text{if } A_i = A' \end{cases} \quad (3.28)$$

3.4 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย

แบบจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย (Fire Dynamics Simulation) หรือ FDS เป็นชุดโปรแกรมสำหรับใช้ในการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) หรือ CFD (McGrattan and et al., 2013) ใช้สำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของไฟ โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้ระบบสมการการเคลื่อนที่ของของไหลที่ความเร็วต่ำ (Low Speed) โดยมีสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.4.1 แบบจำลองพลศาสตร์ของไหล (Hydrodynamics Model) โปรแกรม FDS จะคำนวณแก้สมการการอนุรักษ์ ซึ่งประกอบไปด้วย สมการ ดังนี้

3.4.1.1 สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (3.29)$$

3.4.1.2 สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i''' \quad (3.30)$$

3.4.1.3 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum Equation)

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) + \nabla p = \rho g + f + \nabla \cdot \tau \quad (3.31)$$

3.4.1.4 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} + (\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot q_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad (3.32)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น (Density), p คือแรงดัน (Pressure), T คือ อุณหภูมิ (Temperature), t คือ เวลา (Time), Y_i คือ สัดส่วนของมวล (Mass Fraction), $\dot{m}_i'''$ คือ อัตราการผลิตมวลของสปีชีส์ที่ i ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Mass Production Rate of i th species per unit volume), คือความเร็วเวกเตอร์ u คือความเร็วเวกเตอร์ u, v และ w (Velocity vector), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Acceleration of Gravity), τ คือ แรงเค้นเฉือน (Viscous Stress Tensor), h คือ เอนทัลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient), q_r คือ เวกเตอร์การแผ่รังสีความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Radiative Heat Flux Vector), k คือ ค่าคงที่ของการนำความร้อน (Thermal Conductivity), และ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)

นอกจากนี้ การใช้โปรแกรม FDS มีการกำหนดโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) และกำหนดค่าขอบเขต (Boundary Conditions) โดยโปรแกรม FDS จะทำการแบ่งโดเมนออกเป็นปริมาตรจำกัด (Finite volume) ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่าการสร้างกริด (Grid Generation) จากนั้นจะมีการคำนวณสถานะต่าง ๆ ภายในปริมาตรจำกัด โดยใช้สมการข้างต้น ทั้งนี้ขนาดกริด และจำนวนกริดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองจะต้องมีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และมีความแม่นยำตามทฤษฎี รวมถึงมีการใช้ระยะเวลาในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ที่เหมาะสมด้วย

3.4.2 ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation

ในแบบจำลองเชิงตัวเลขมี 2 ระเบียบวิธีที่นำมาใช้พิจารณาค่า μ หรือค่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic Viscosity) ได้แก่ ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) และระเบียบวิธี Direct Numerical Simulation (DNS) และระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับการจำลองเพลิงไหม้สำหรับพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor Fire Model) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Subgrid Scale Model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสถานะการไหลแบบปั่นป่วนในส่วนของการเผาไหม้ เพื่อแก้ปัญหากริดที่ไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ของ Smagorinsky ค่าความหนืดดังกล่าวแสดงดังสมการดังนี้

$$\mu_{LES} = \rho(C_s \Delta)^2 \left(2(\text{defu})(\text{defu}) - \frac{2}{3}(\nabla \cdot u)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.33)$$

โดยที่ค่า C_s เป็นค่าคงที่ของ Smagorinsky, Δ เป็นขนาดของ Filter และพจน์แปลงรูปสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจาย (Dissipation Function) ดังที่แสดงในสมการ ซึ่งฟังก์ชันการกระจายจะเป็นรูปแบบของการถ่ายโอนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อน

วิธี LES ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Material Diffusivity) มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) ในระบบการคำนวณจะกำหนดให้ Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) มีค่าคงที่ ในการจำลองของ FDS ค่าคงที่ของ Smagorinsky จะมีค่าเท่ากับ 0.2 ทุกกรณี

3.4.3 การจำลองการเผาไหม้แบบสัดส่วนสารผสม

โดยโปรแกรม FDS ใช้แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Combustion Model) อันเป็นการใช้หลักการของการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ภายใต้สมมติฐานว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถูกควบคุมด้วยอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Mixing Controlled Combustion) ทันทีที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมเข้าด้วยกันจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical Reaction) ได้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ กระบวนการเผาไหม้เป็นแบบควบคุมโดยการผสมทุก ๆ สปีชีส์สามารถอธิบายโดยพจน์สัดส่วนของสารผสม $Z(x,t)$ ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของเชื้อเพลิง

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของมวลกับสารผสมเรียกว่าความสัมพันธ์สถานะ (State Relation) ความสัมพันธ์สถานะที่เกิดจากเปลวไฟที่แพร่แบบราบเรียบ (Laminar Diffusion Flame) เป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้นซึ่งนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์เปลวไฟโดยใช้แบบจำลองแผ่นไฟ (Flame Sheet Model) โดยนำแผ่นเปลวไฟในลักษณะสองมิติหลายแผ่นมาเรียงซ้อนกันเป็นสามมิติอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้จากอัตราการใช้ออกซิเจนที่ผิวนอกของเปลวไฟโดยใช้สมมติฐานว่าทั้งสองค่านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน และไม่ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิง ซึ่งรูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้แสดงได้ดังสมการ



จากสมการปริมาณสัมพันธ์ (3.33) อัตราการใช้เชิงมวลของเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์มีความสัมพันธ์ กันดังสมการ (3.35) ต่อไปนี้

$$\frac{\dot{m}_F'''}{v_F M_F} = \frac{\dot{m}_O'''}{v_O M_O} \quad (3.35)$$

สัดส่วนสารผสม Z สามารถนิยามได้ดังนี้

$$Z = \frac{sY_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{sY_F^l + Y_O^\infty}; s = \frac{v_O M_O}{v_F M_F} \quad (3.36)$$

สัดส่วนสารผสมเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ ซึ่งได้มาจากสมการอนุรักษ์รวมเชิงเส้นของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ดังในสมการที่ (3.37) ดังนี้

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad (3.37)$$

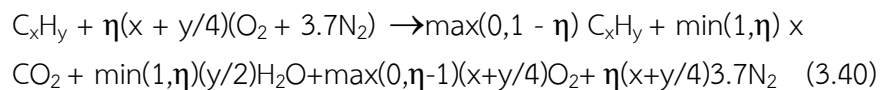
โดยสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาเคมีการเผาไหม้เกิดขึ้นเร็วมาก เชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์ไม่สามารถอยู่ร่วมกันได้ สามารถนิยามพื้นผิว เปลวไฟได้ดังนี้

$$Z(X, t) = Z_f = \frac{Y_O^\infty}{sY_F^l + Y_O^\infty} \quad (3.38)$$

สมมุติฐานที่ว่าเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์ไม่สามารถอยู่ร่วมกันได้นั้นนำไปสู่ความสัมพันธ์ของสถานะสัดส่วนเชิงมวลของออกซิเจน Y_O และ Z

$$Y_O(Z) = \begin{cases} Y_O^\infty (1 - Z / Z_f) & Z < Z_f \\ 0 & Z > Z_f \end{cases} \quad (3.39)$$

ความสัมพันธ์สถานะสำหรับทั้งตัวทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์สามารถอนุพัทธ์ (Derived) โดยพิจารณาปฏิกิริยาอุณหเคมีของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน



พารามิเตอร์ η มีค่าตั้งแต่ 0 ซึ่งแสดงถึงสถานะที่มีแต่เชื้อเพลิงไม่มีออกซิเจนจนถึง ∞ ซึ่งแสดงถึงภาวะที่มีแต่ออกซิเจนและไม่มีเชื้อเพลิง การสมนัยกันระหว่าง η และ z สามารถหาได้โดยการใช้ นิยามของ z ในสมการ (3.36) กับฝั่งซ้ายของสมการ (3.39) สัดส่วนเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ได้จากฝั่งขวาของสมการ (3.39) เช่นกัน

3.5 การคำนวณที่ใช้ในแบบจำลองการอพยพ

3.5.1 การเคลื่อนที่แบบ SFPE

ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการอพยพ (Agent Based Simulation: ABS) ด้วยการใช้โปรแกรม Pathfinder โดยตัวโปรแกรมได้สร้างทางเลือกในการคำนวณการเคลื่อนที่ในรูปแบบ SFPE (Path Following in SFPE Mode) ในส่วนของโครงสร้างนำทางการอพยพ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 อย่างคือ ประตู ห้อง และบันได โดยห้อง (Room) เป็นพื้นที่เปิดสำหรับให้ผู้อพยพเดินผ่าน บันได (Stairs) เป็นตัวเชื่อมโยงห้องในแต่ละระดับ ซึ่งความชันของบันไดจะมีผลต่อความเร็วของผู้อพยพ ประตู (Door) จะควบคุมอัตราการไหล และทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างห้องและบันได พารามิเตอร์ที่มีในรูปแบบนี้ มีดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ความเร็ว (Velocity)

ความเร็ว, v , ที่ผู้อพยพใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่าง รวมไปถึงความเร็วสูงสุดของผู้ทำการอพยพ ($v_{\max}$) ถูกกำหนดโดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้อาคาร รูปแบบของพื้นที่ การปรับปรุงความเร็ว

3.5.1.2 ความเร็วพื้นฐาน Base Speed, V_b

$$v_b = v_{\max} \times v_f(D) \times v_{ft} \quad (3.41)$$

$v_{\max}$ คือ ความเร็วสูงสุดของผู้อพยพในระบบ $v_f(D)$ เป็นส่วนหนึ่งของความเร็วในฟังก์ชันความหนาแน่น ดังนี้

$$v_f(D) = \begin{cases} 1, & D < .55 \text{ pers/m}^2 \\ \max\left[v_{f\min}, \frac{1}{.85}(1 - 2.66D)\right], & D \geq .55 \text{ pers/m}^2 \end{cases} \quad (3.42)$$

$v_{f\min}$ คือ ความเร็วต่ำสุดที่กำหนดไว้ที่ค่าตั้งต้น เท่ากับ 0.15 และ D คือ ความหนาแน่นของผู้อพยพที่อยู่ในพื้นที่ ณ ขณะนั้น v_{ft} คือ ความเร็วที่ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่อาคาร ดังสมการ

$$v_{ft} = \frac{k}{1.4} \quad (3.43)$$

สำหรับพื้นที่ที่เป็นห้อง (room) และทางลาด (ramps) จะมีค่า k เท่ากับ 1.40 เมตรต่อวินาที สำหรับพื้นที่ที่เป็นบันได ค่า k จะขึ้นอยู่กับความชันของขั้นบันได ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่า k ในโหมด SFPE

Stair Riser (inches)	Stair Tread (inches)	k
7.5	10.0	1.00
7.0	11.0	1.08
6.5	12.0	1.16
6.5	13.0	1.23

ที่มา: Pathfinder Technical Reference (2018)

3.5.1.3 ความหนาแน่น Density: D

ในโหมด SFPE ถือว่าความหนาแน่นเท่ากันหมดทั้งห้อง โดยคำนวณได้จาก

$$D = \frac{n_{pers}}{A_{room} - A_{blayer}} \quad (3.44)$$

n_{pers} คือ จำนวนของผู้ที่อาศัยในพื้นที่ A_{room} คือพื้นที่ของห้อง และ A_{blayer} คือพื้นที่โดยรอบ ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ทั้งหมด

3.5.1.4 ตัวแปลงความเร็วและค่าคงที่ (Speed Modifiers and Constants)

เมื่อผู้อพยพเข้ามาในเส้นทางอพยพ ความเร็วของผู้อพยพ คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$v = k_v v_b \quad (3.45)$$

ซึ่ง k_v คือตัวแปลงความเร็วสำหรับส่วนประกอบนั้น ๆ , v_b คือความเร็วพื้นฐานของผู้อพยพในส่วนประกอบนั้น

3.5.1.5 การเคลื่อนที่ผ่านประตู (Movement through Doors)

แต่ละประตูอาจมีการไหลที่เฉพาะเจาะจงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับทิศทางของผู้อพยพจะผ่านประตูและประเภทพื้นที่ที่เชื่อมต่อกับประตู อัตราการไหลเฉพาะ (specific flow) สำหรับทิศทางเฉพาะผ่านประตู ได้จากสมการ (3.46)

$$F_s = (1 - 0.266 \times D) \times k \times D \quad (3.46)$$

ค่าความเร็วคงที่ในการอพยพ k ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ก่อนหน้าและผู้อพยพผ่านมา และค่า D ค่าความหนาแน่นสูงสุดของผู้อพยพในห้องที่ติดกับประตู เนื่องจากสมการการไหลอยู่ในรูปสมการกำลังสองค่า D จะถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง (1.9, 3.0) คนต่อตารางเมตร ซึ่งในช่วงนี้

ในช่วงความหนาแน่นต่ำจะไม่เกิดการชะลออัตราการไหล และในช่วงความหนาแน่นสูงก็จะมีลดอัตราการไหลให้เป็นศูนย์

3.5.2 การเคลื่อนที่แบบ Steering

ในการเคลื่อนที่แบบ Steering (Path Following in Steering Mode) โปรแกรม Pathfinder จะใช้การผสมผสานระหว่างกลไกบังคับเลี้ยวและการชนกันเพื่อควบคุมวิธีการที่ที่อพยพเคลื่อนที่แบบโค้ง กลไกเหล่านี้อนุญาตให้ผู้อพยพเบี่ยงเบนไปจากเส้นทางในขณะที่ยังมุ่งหน้าไปในทิศทางที่ถูกต้องไปยังเป้าหมายของพวกเขาสำหรับโปรแกรม Pathfinder มีการใช้ 3 พฤติกรรมหลักของแบบ Steering เช่น การค้นหา การหลีกเลี่ยงผนัง การหลีกเลี่ยงผู้อพยพด้วยกันเอง พฤติกรรมเหล่านั้นกำหนดค่าให้เป็น 0 กับ 1 ในสามพฤติกรรมสามารถคำนวณได้ดังนี้

3.5.2.1 พฤติกรรมการค้นหา (Seek)

พฤติกรรมการค้นหาผู้อพยพจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งการค้นหา (seek curve) เช่น ทิศทางการเคลื่อนที่เป็น v และเส้นโค้งการค้นหาเป็น Sc พฤติกรรมการค้นหาจะขึ้นอยู่กับขนาดของมุมระหว่าง v และแทนเจนต์ไปยัง Sc คำนวณได้จากสมการ (3.47)

$$C_{seek} = \frac{\theta_t}{2\pi} \quad (3.47)$$

ซึ่ง θ_t มุมระหว่าง v และแทนเจนต์ไปยัง Sc

3.5.2.2 พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงผนัง (Avoid walls)

พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงผนังจะควบคุมผู้อพยพให้หลีกเลี่ยงผนัง เพื่อมุ่งไปยังทางออก พฤติกรรมนี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่ผู้อพยพสามารถเดินทางไปยังทิศทางที่คาดการณ์ไว้ และขึ้นอยู่กับมุมที่ผู้อพยพชนกับกำแพง พิจารณาได้จากสมการ (3.48) - (3.51)

$$D_{min} = \frac{v'_{curr}{}^2}{2a_{bmax}} \quad (3.48)$$

$$D_{max} = D_{min} + \max \left[\frac{v'_{max}{}^2}{2a_{bmax}}, v'_{curr} t_{wcr} \right] \quad (3.49)$$

$$C = 1 - \frac{D_{coll} - D_{min}}{D_{max} - D_{min}} \quad (3.50)$$

$$C_{aw} = \begin{cases} 1, & \bar{d}_{slide} \cdot \bar{d}_{des} \leq 0 \\ C * (1 - \bar{d}_{slide} \cdot \bar{d}_s), & \bar{d}_{slide} \cdot \bar{d}_{des} > 0 \end{cases} \quad (3.51)$$

t_{wcr} คือ เวลาสูงสุดที่ผู้อพยพแต่ละคนจะตอบสนองต่อการชนผนัง
(กำหนดเป็นค่าคงที่เท่ากับ 2 วินาที)

$a_{b\max}$ คือ ค่าสูงสุดของความเร่งในแนวเส้นสัมผัสที่ลดลง
(tangential deceleration)

D_{coll} คือ ระยะการชน

d_{slide} คือ ทิศทางที่ agent จะไหลออกไปถ้าเกิดชนกำแพง

$\bar{d}_{des}$ คือ ทิศทางการอพยพที่ต้องการ

$\bar{d}_s$ คือ ทิศทางตัวอย่าง

ค่า resulting cost กำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

3.5.2.3 พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงผู้อพยพด้วยตนเอง (Avoid Occupants)

พฤติกรรมการหลีกเลี่ยงผู้อพยพ เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของผู้อพยพด้วยตนเอง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วที่เร็วที่สุดกับผู้อพยพรายอื่น ตามทิศทางตัวอย่าง การคำนวณพิจารณาได้จาก สมการดังนี้

$$D_{\min} = D_{sep} + \frac{v'_{curr}{}^2}{2a_{\max}} \quad (3.52)$$

$$D_{\max} = D_{\min} + \max \left[\frac{v'_{\max}{}^2}{2a_{\max}}, v'_{curr} t_{cr} \right] \quad (3.53)$$

$$C_{ao} = 1 - \frac{D_{coll} - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (3.54)$$

D_{sep} คือ ระยะห่างที่ต้องการระหว่างผู้อพยพ และบุคคลอื่น

t_{cr} คือ เวลาสูงสุดที่ผู้อพยพจะตอบสนองต่อการชน

D_{coll} คือ ระยะการชน

ค่า resulting cost กำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

3.5.2.4 การประเมินการเคลื่อนไหวน (Evaluating Movement)

เมื่อประเมินขนาดและทิศทางการเคลื่อนที่แล้ว ก็จะมีการคำนวณหาความเร็วและความเร่งในแนวเส้นสัมผัส ในโหมด Steering ซึ่งการเคลื่อนที่ด้วยพฤติกรรม Steering ในแต่ละครั้งจะคำนวณระยะทางสูงสุดที่ควรจะเป็นในการอพยพไปตามทิศทางตัวอย่าง ระยะทางสูงสุดนี้จะถูกใช้เพื่อพิจารณาขนาดของความเร็วที่ต้องการ $\bar{v}_{des}$ ดังนี้

$$D_{stop} = \frac{v'_{curr}{}^2}{2a_{\max}} \quad (3.55)$$

$$|\bar{v}_{des}| = \begin{cases} 0, & D_{max} \leq D_{stop} \\ v_{max}, & D_{max} > D_{stop} \end{cases} \quad (3.56)$$

$$\bar{v}_{des} = |\bar{v}_{des}| \bar{d}_{des} \quad (3.57)$$

D_{max} คือ ระยะทางสูงสุดสำหรับ lowest cost ของทิศทางตัวอย่าง
 $\bar{d}_{des}$ คือ lowest cost ของทิศทางตัวอย่าง, และ $\bar{v}_{curr}$ คือความเร็วปัจจุบันของผู้พยพ
 ของผู้พยพ

สำหรับความเร่ง คำนวณได้จากสมการ

$$\bar{a} = \frac{\bar{v}_{des} - \bar{v}_{curr}}{|\bar{v}_{des} - \bar{v}_{curr}|} a_{max} \quad (3.58)$$

การรวมออยเลอร์ จะใช้ในการคำนวณความเร็วและตำแหน่งของแต่ละผู้พยพ
 สำหรับครั้งต่อไปของการเคลื่อนที่แบบ steering
 ความเร็วและตำแหน่ง คำนวณได้จาก

$$\bar{v}_{next} = \bar{v}_{curr} + \bar{a} \Delta t \quad (3.59)$$

$$\bar{p}_{next} = \bar{p}_{curr} + \bar{v}_{next} \Delta t \quad (3.60)$$

Δt คือ เวลาในการก้าว
 $\bar{p}_{curr}$ คือ ตำแหน่งปัจจุบัน
 $\bar{p}_{next}$ คือ ตำแหน่งหลังจากที่ก้าวไป

บทที่ 4

กรณีศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอค์ภัยในประเทศไทย ด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาในส่วนนี้ เป็นการประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการอค์ภัยในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมการผลิต โดยแบ่งออกเป็น 9 กลุ่มประเภทอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) โดยทำการเก็บข้อมูล ปัจจัยนำเข้า (Input) ในการบริหารจัดการและปัจจัยนำออก (Output) เพื่อนำมาประเมินค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) เป็นช่วงเวลา 3 ปี คือ จากปี 2556 จนถึงปี 2558 โดยทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลที่ได้จากฐานการรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุที่มีอยู่ในระบบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยแบ่งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมออกเป็น 9 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า 2) กลุ่มประกอบกิจการเกี่ยวกับการแปรรูปไม้ 3) กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับพลาสติก โฟม กระดาษ ยาง 4) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย 5) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ รีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช 6) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม 7) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร และ 8) เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก 9) กลุ่มกิจการอื่น ๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรม

โดยจากการศึกษาข้อมูลด้านปัจจัยนำเข้า (Inputs) และปัจจัยนำออก (Output) ด้วยการเก็บข้อมูลที่มีอยู่ ได้ใช้ส่วนของปัจจัยนำเข้า (Inputs) ประกอบด้วย ปัจจัยนำเข้าตัวที่หนึ่ง คือ เงินทุนของกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกิดเหตุ (หน่วยเป็นพันล้านบาท) ปัจจัยนำเข้าตัวที่สอง คือ จำนวนพนักงานทั้งหมดในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2562: เว็บไซต์) และกำหนดข้อมูลปัจจัยนำออก (Output) พนักงานที่ผ่านการอบรมดับเพลิงขั้นต้น ซึ่งผู้วิจัยกำหนดเป็นร้อยละสี่สิบของจำนวนพนักงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ภายใต้ข้อกำหนดที่ว่าโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีพนักงานที่ผ่านการอบรมดับเพลิงขั้นต้นไม่น้อยกว่าร้อยละสี่สิบ (ราชกิจจานุเบกษา, 2556) ปัจจัยนำออกตัวที่สองมูลค่าความเสียหายจากการเกิดอค์ภัยในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม (หน่วยเป็นพันล้านบาท) และปัจจัยนำออกตัวที่สามคือจำนวนผู้บาดเจ็บและเสียชีวิต (คน) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากระบบฐานข้อมูลอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม เช่นเดียวกัน ข้อมูลปัจจัยนำเข้า นำออกที่ใช้ในการศึกษา แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลปัจจัยนำเข้า ด้านการบริหารจัดการอค์ภัยในกลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	ปัจจัยนำเข้า (Inputs)					
	เงินทุน (ล้านบาท)			จำนวนคนงาน (พันคน)		
	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558
1	1	817.4	200	0.02	4.30	2.00
2	148	53.1	243.3	0.12	0.30	0.30
3	1730	677.7	1919.6	3.33	0.45	8.10
4	992	1502	481	2.40	4.04	2.20
5	363.3	571.1	1359.5	1.09	4.04	2.02
6	86.3	109	9.5	0.11	2.04	0.04
7	1334	315.6	801	2.19	4.80	2.22
8	1658	3858.2	16707.3	4.30	13.02	11.06
9	698.8	142.2	3812.5	2.46	2.10	12.26

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปัจจัยด้านปัจจัยนำออก ด้านการบริหารจัดการอค์ภัยในกลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	ปัจจัยนำออก (Output)								
	พนักงานที่ผ่านการอบรม ดับเพลิง (พันคน)			ค่าเสียหาย (ล้านบาท)			ผู้บาดเจ็บ/เสียชีวิต (พันคน)		
	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558
1	0.01	1.72	0.80	1.3	12.9	10	0	0	0.002
2	0.05	0.12	0.12	21.3	15.2	5.9	0	0.013	0
3	1.33	0.18	3.24	331.5	102.7	134.6	0.002	0	0.001
4	0.96	1.62	0.88	33.5	2.2	1.4	0	0.005	0
5	0.44	1.62	0.81	412	58	4.0	0.005	0.002	0.001
6	0.04	0.82	0.02	25.5	44	6.5	0	0	0
7	0.88	1.92	0.89	86.3	58.9	56	0	0	0
8	1.72	5.21	4.42	106.4	141.7	223.7	0	0.003	0.019
9	0.98	0.84	4.90	86.1	1517.8	207.7	0.003	0.003	0.003

4.1.1 การแปลงข้อมูลลงในแบบจำลอง CCR ลงในโปรแกรม LINDO

ในการสร้างแบบจำลอง CCR ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยแยกศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการอค์กั๊ยกั๊ยกเป็นกลุ่มจำนวน 9 กลุ่ม แล้วทำการใส่ข้อมูลด้านปัจจัยนำเข้า (Input) และปัจจัยนำออก (Output) ลงในแบบจำลอง ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง CCR เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรม LINDO เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กั๊ยกั๊ยก ของกลุ่มกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอและเส้นใย ของปี 2556 แสดงในสมการที่ (4.1) ถึง (4.11) ดังนี้

$$\text{Max } 0.01Y_1 - 1.3Y_2 \quad (4.1)$$

SUBJECT TO

$$1 \times 1 + 0.02 \times 2 = 1 \quad (4.2)$$

$$0.01Y_1 - 1.3Y_2 - 1 \times 1 - 0.02 \times 2 \quad (4.3)$$

$$0.05Y_1 - 21.3Y_2 - 148 \times 1 - 0.12 \times 2 \leq 0 \quad (4.4)$$

$$1.33Y_1 - 331.5Y_2 - 0.002Y_3 - 1730 \times 1 - 3.33 \times 2 \leq 0 \quad (4.5)$$

$$0.96Y_1 - 33.5Y_2 - 992X_1 - 2.4X_2 \leq 0 \quad (4.6)$$

$$0.44Y_1 - 412Y_2 - 0.005Y_3 - 363.3 \times 1 - 1.09 \times 2 \leq 0 \quad (4.7)$$

$$0.04Y_1 - 25.5Y_2 - 86.3 \times 1 - 0.11 \times 2 \leq 0 \quad (4.8)$$

$$0.88Y_1 - 86.3Y_2 - 1334 \times 1 - 2.19 \times 2 \leq 0 \quad (4.9)$$

$$1.72Y_1 - 106.4Y_2 - 1658 \times 1 - 4.30X_2 \leq 0 \quad (4.10)$$

$$0.98Y_1 - 86.1Y_2 - 0.003Y_3 - 698.8 \times 1 - 2.46 \times 2 \leq 0 \quad (4.11)$$

END

4.1.2 การแปลงข้อมูลลงในแบบจำลอง BCC ลงในโปรแกรม LINDO

สำหรับการสร้างแบบจำลอง CCR ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยแยกศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการอค์กั๊ยกั๊ยกเป็นกลุ่มจำนวน 9 กลุ่ม เช่นเดียวกัน ทำการใส่ข้อมูลด้านปัจจัยนำเข้า (Input) และปัจจัยนำออก (Output) ลงในแบบจำลอง ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง BCC เพื่อป้อนเข้าสู่

โปรแกรม LINDO เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์ศิภัย ของกลุ่มกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอและเส้นใย ของปี 2556 แสดงในสมการที่ (4.12) ถึง (4.17) ดังนี้

MINIMIZE THETA

SUBJECT TO

$$1L1 + 148L2 + 1730L3 + 992L4 + 363.3L5 + 86.3L6 + 1334L7 + 1658L8 + 698.8L9 - 1THETA \leq 0 \quad (4.12)$$

$$0.02L1 + 0.12L2 + 3.33L3 + 2.40L4 + 1.09L5 + 0.11L6 + 2.19L7 + 4.30L8 + 2.46L9 - 0.02THETA \leq 0 \quad (4.13)$$

$$0.01L1 + 0.05L2 + 1.33L3 + 0.96L4 + 0.44L5 + 0.04L6 + 0.88L7 + 1.72L8 + 0.98L9 \geq 0.01 \quad (4.14)$$

$$1.3L1 + 21.3L2 + 331.5L3 + 33.5L4 + 412L5 + 25.5L6 + 86.3L7 + 106.4L8 + 86.1L9 \geq 1.3 \quad (4.15)$$

$$0.002L3 + 0.005L5 + 0.003L9 \geq 0 \quad (4.16)$$

$$L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 = 1 \quad (4.17)$$

END

4.2 ผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการอค์ศิภัยแยกเป็นกลุ่มอุตสาหกรรม โดยจำแนกออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า 2) กลุ่มประกอบกิจการเกี่ยวกับการแปรรูปไม้ 3) กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับพลาสติก โฟม กระดาษ ยาง 4) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย 5) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ รีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว สกัตน้ำมันจากพืช 6) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม 7) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร และ 8) เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก 9) กลุ่มกิจการอื่น ๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรม สามารถสรุปเป็นค่าประสิทธิภาพเปรียบเทียบให้เห็นตามช่วงเวลา ตั้งแต่ปี 2556 จนถึงปี 2558 ได้ผลแสดงออกมาดังแสดงในตารางที่ 4.3 - 4.5

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ในปี 2556 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพ ของแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ CRS พบว่า ใน กลุ่ม 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย มีประสิทธิภาพ

การบริหารจัดการด้านอค์คีภัยดี (ค่า CRS เท่ากับ 1) ส่วน ส่วนกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น ๆ ยังไม่มีประสิทธิภาพด้านการจัดการต่ำ

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ในปี 2557 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพ CRS จากโมเดลการวิเคราะห์ BCC พบว่า กลุ่ม 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย กลุ่ม 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) และกลุ่ม 7 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร) มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์คีภัยดี (ค่า CRS เท่ากับ 1)

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในปี 2558 พิจารณาค่าประสิทธิภาพ CRS จากโมเดลการวิเคราะห์ BCC พบว่า กลุ่ม 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) กลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย กลุ่ม 5 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ รีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช) กลุ่ม 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์คีภัยดี (ค่า CRS เท่ากับ 1)

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอค์คีภัย รายการกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2556

กลุ่มอุตสาหกรรม	ค่าประสิทธิภาพ การจัดการ ปี 2556 (TE_{CRS})
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ การแปรรูปไม้	0.833
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระดาษ ยาง	0.798
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สี สารเคมีไวไฟ น้ำมันรีไซเคิลใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช	0.807
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ กาก หรือขยะอุตสาหกรรม	0.727
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ อาหาร	0.871
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ และเหล็ก	0.943
อื่น ๆ ทั่วไป ไม่ใช่โรงงาน	0.885

ตารางที่ 4.4 ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอค์คิัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2557

กลุ่มอุตสาหกรรม	ค่าประสิทธิภาพ การจัดการ ปี 2557 (TE _{CRS})
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ การแปรรูปไม้	0.995
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระดาษ ยาง	0.995
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สี สารเคมีไวไฟ น้ำมันรีไซเคิลใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช	0.998
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ กาก หรือขยะอุตสาหกรรม	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ อาหาร	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ และเหล็ก	0.998
อื่น ๆ ทั่วไป ไม่ใช่โรงงาน	0.995

ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอค์คิัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2558

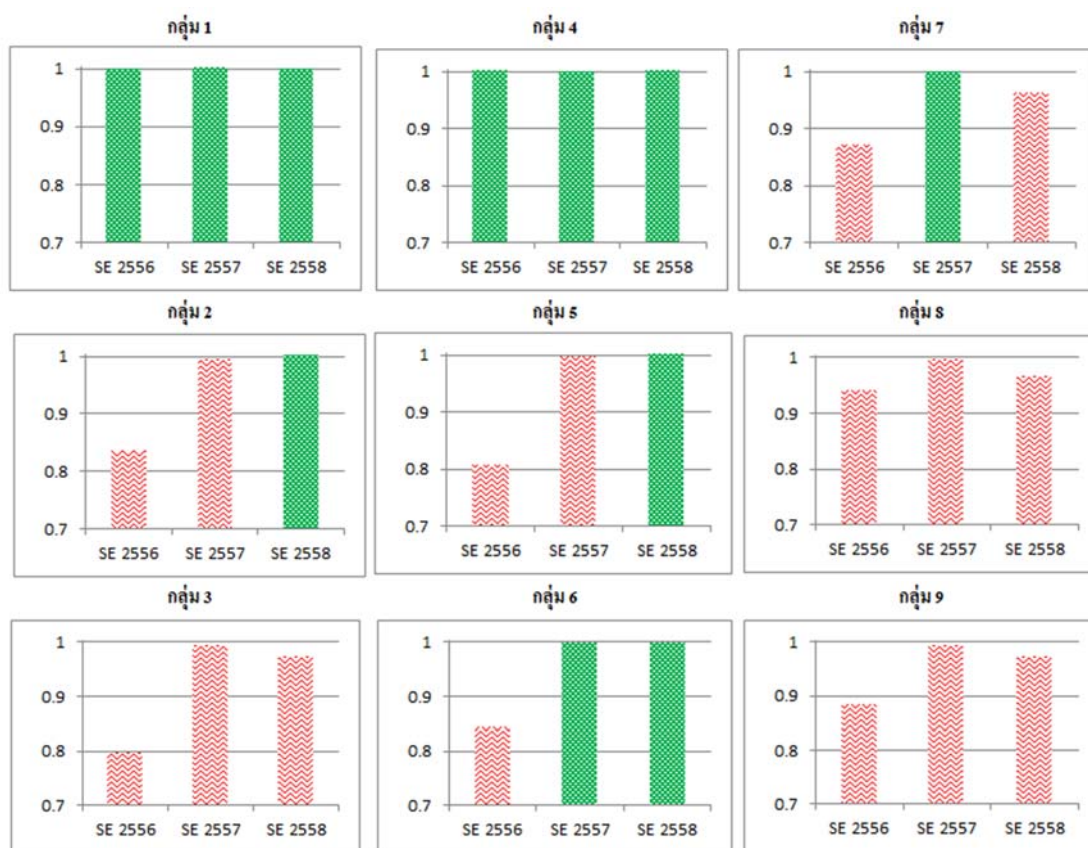
กลุ่มอุตสาหกรรม	ค่าประสิทธิภาพ การจัดการ ปี 2558 (TE _{CRS})
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ การแปรรูปไม้	0.970
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระดาษ ยาง	0.975
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ สี สารเคมีไวไฟ น้ำมันรีไซเคิลใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ กาก หรือขยะอุตสาหกรรม	1.000
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ อาหาร	0.964
กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ และเหล็ก	0.968
อื่น ๆ ทั่วไป ไม่ใช่โรงงาน	0.973

4.3 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการจัดการด้านอค์คิภัย ปี 2556 - 2558

เมื่อพิจารณาค่าที่คำนวณได้แบบจำลองภายใต้สมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (VRS) และค่า Scale Efficiency (SE) ข้อมูลจากตารางที่ 4.6 พบว่า มี 2 กลุ่ม 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช พอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย) ที่ยังคงประสิทธิภาพได้ทั้ง 3 ปี ส่วน กลุ่มที่ 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) มีประสิทธิภาพการจัดการที่ดี ในสองปีหลัง ส่วน กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 7 พบว่าอย่างน้อยในรอบสามปี พบว่ามีค่าประสิทธิภาพที่ดีหนึ่งครั้ง ส่วนกลุ่มที่ 3, 8 และกลุ่มที่ 9 พบว่าตลอด 3 ปี มีการบริหารจัดการด้านอค์คิภัยที่ต่ำกว่า ค่า Scale Efficiency (SE) ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ในปี 2556 – 2558 แสดงในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.6 ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอค์คิภัย รายกลุ่มอุตสาหกรรม ปี 2556-2558

กลุ่มอุตสาหกรรม	ค่าประสิทธิภาพการจัดการด้านอค์คิภัย								
	ปี 2556			ปี 2557			ปี 2558		
	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.833	0.996	0.836	0.995	1.000	0.995	0.970	0.967	1.000
3	0.798	1.000	0.798	0.995	0.999	0.996	0.975	1.000	0.975
4	1.000	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	1.000
5	0.807	1.000	0.807	0.998	1.000	0.998	1.000	0.998	1.000
6	0.727	0.860	0.845	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	0.871	1.000	0.871	1.000	1.000	1.000	0.964	1.000	0.964
8	0.943	1.000	0.943	0.998	1.000	0.998	0.968	1.000	0.968
9	0.885	1.000	0.885	0.995	1.000	0.995	0.973	1.000	0.973



▨ หมายถึงปีที่ มีประสิทธิภาพต่ำกว่า ■ หมายถึงปีที่ มีประสิทธิภาพดี

ภาพที่ 4.1 ค่าประสิทธิภาพทางการจัดการด้านอค์คิภย (SE) รายกลุ่มอุตสาหกรรม เปรียบเทียบปี 2556-2558

บทที่ 5

กรณีศึกษาการบูรณาการเครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟ และแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน

5.1 ที่มาและความสำคัญของกรณีศึกษา

เพลิงไหม้ ถือเป็นเหตุฉุกเฉินและอุบัติเหตุร้ายแรงที่สำคัญ ที่นำมาซึ่งความสูญเสียอย่างใหญ่หลวง ทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อร่างกาย และการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน จากอดีตที่ผ่านมาพบว่ามีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับทั้งหน่วยงานภาคเอกชนและภาครัฐบาลในการจัดการและบรรเทาเหตุฉุกเฉินที่เกิดขึ้น ทั้งนี้พบว่าแนวโน้มการเกิดอัคคีภัยมีจำนวนมากขึ้นในแต่ละปี ซึ่งส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจำนวนมาก (Winberg, 2016) เช่นเหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์การค้าในเมืองลิมา ประเทศเปรู ในเดือนธันวาคม ปี 2001 มีผู้เสียชีวิต 291 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้โรงพยาบาลในกรุงมอสโก ประเทศรัสเซีย ในเดือนธันวาคม ปี 2006 มีผู้เสียชีวิต 46 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์ดูแลผู้คน ในเมือง Hermosillo ประเทศเม็กซิโก ในเดือนมิถุนายน ปี 2009 มีผู้เสียชีวิต 47 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ในเมือง Dhaka ประเทศบังกลาเทศ ในเดือนมิถุนายน ปี 2010 มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 117 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ตึกสูงในแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ในเดือนมิถุนายน ปี 2016 มีผู้เสียชีวิต 36 ราย และในเดือนมิถุนายน ปี 2017 เกิดเหตุไฟไหม้ตึกสูงในลอนดอน ประเทศอังกฤษ ทำให้มีผู้เสียชีวิต 17 ราย เป็นต้น (Kasereka and et al., 2018) ซึ่งหากทำการจำแนกการเกิดเหตุไฟไหม้ตามแหล่งกำเนิดของการเกิดเพลิงไหม้ พบว่าเกิดขึ้นได้หลากหลายตามลักษณะแหล่งกำเนิด โดยการเกิดเพลิงไหม้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นสิ่งปลูกสร้าง (Structure) เป็นหลัก ตามมาด้วยเหตุการณ์ไฟไหม้ในยานพาหนะ ไฟไหม้หญ้า กองขยะ ไฟไหม้ป่า และพื้นที่อื่น ๆ ตามลำดับ (Brushlinsky and et al., 2016)

ทั้งนี้ในแวดวงวิจัย ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ ซึ่งได้มีการแบ่งการวางแผนการจัดการสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Planning) ออกเป็น 4 ระยะ (Alexander, 2002) โดยระยะแรกในช่วงก่อนเกิดเหตุเป็นระยะของการเตรียมการก่อนการเกิดเหตุรวมถึงการลดผลกระทบจากการเกิดเหตุ (Mitigation Phase) ระยะที่สองคือการเตรียมการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉิน (Preparedness Phase) ที่จะเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ฉุกเฉิน ต่อจากนั้นเป็นระยะของการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินอย่างทันท่วงทีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นแล้ว (Response Phase) และระยะสุดท้ายเป็นการฟื้นฟูให้สถานการณ์กลับสู่ปกติ (Recovery Phase) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยที่มีอยู่เป็นการศึกษาในระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาในช่วงก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยงานวิจัยในส่วนในระยะที่ 3 และ 4 ซึ่งเน้นที่การจัดการหลังเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นแล้วยังมีอยู่อย่างจำกัด (McLoughlin, 1985; Ransikarbum and Mason, 2016a; Ransikarbum and Mason, 2016b) นอกจากนี้งานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้มีการบูรณาการแต่ละระยะเข้าด้วยกัน ซึ่งพบว่าเครื่องมือที่นำมาวิเคราะห์การวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉินส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของวิธีการจำลองโมเดลสถานการณ์ (Simulation) และการใช้เครื่องมือขั้นสูงทางคณิตศาสตร์ เป็นหลัก โดยการศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นการเน้นที่การบูรณาการ

Integrate Phase 2 และ 3 โดยวิเคราะห์การรับมือก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน และการตอบสนองโดยทำการอพยพผู้คนออกจากอาคาร เนื่องจากเหตุฉุกเฉินจากเพลิงไหม้

ทั้งนี้ งานวิจัยที่เน้นการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Simulation) มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องสูง เมื่อเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่เป็นการใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหาในระดับ Macro Scale ในขณะที่ Computer Simulation เหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนในระดับ Micro Scale (Kincaid, 2003) โดยในงานวิจัยนี้เป็นการ บูรณาการ (Integration) การใช้เครื่องมือด้านการวิเคราะห์การทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Decision Making: MCDM) โดยการใช้ Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) ร่วมกับ Information Entropy Weight (IEW) ในการวิเคราะห์คัดเลือกจุดรวมพล (Assembly Point) ซึ่งใช้เป็นจุด Exit Point ในการโมเดลการอพยพในงานวิจัยนี้ จากนั้นทำการจำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินจากไฟไหม้ โดยใช้โปรแกรม Pyrosim ซึ่งเป็นหนึ่งในโปรแกรม Fire Dynamic Simulator (FDS) สำหรับวิเคราะห์รูปแบบของอัคคีภัยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (Fire Characteristics) ร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบใช้ตัวแทน (Agent-Based Simulation: ABS) โดยใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อวิเคราะห์การอพยพหนีไฟออกจากอาคาร ตามลำดับ

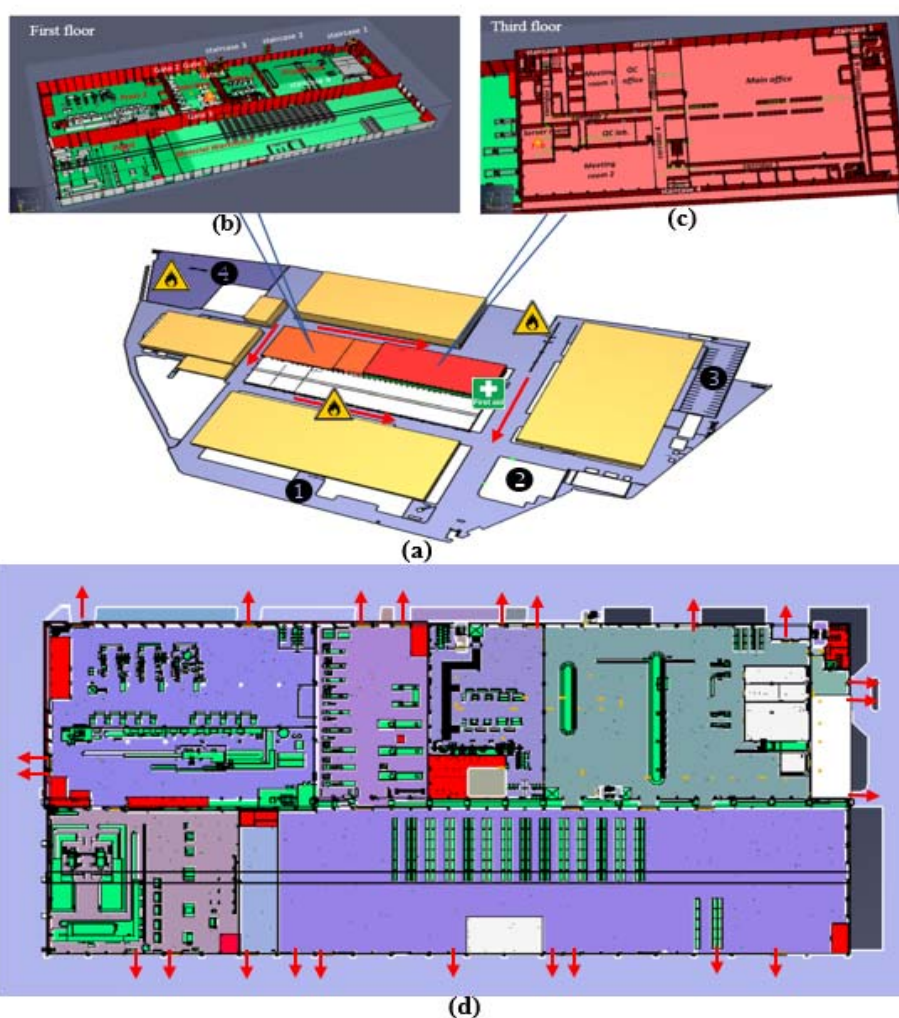
โดยกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์หาจุดรวมพลที่เหมาะสม จากสถานที่ปฏิบัติงานจริง ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย โดยมี Layout ประกอบด้วย 5 อาคารการผลิตหลัก และจุดรวมพลที่หลากหลาย โดยอาคารที่ใช้ในการจำลองการอพยพ และการเกิดไฟไหม้เป็นอาคารขนาด 3 ชั้นที่มีพนักงานทำงานอยู่เป็นจำนวนมาก จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาโดยใช้ (Analysis of Variance: ANOVA) ในการวิเคราะห์ปัจจัยทางด้าน Building Characteristic ร่วมกับ Agent Characteristic คือ 1) การรับรู้การเกิดไฟไหม้ (Fire Perception) 2) ความบกพร่องด้านความพิการของผู้อพยพ (Physical Disability) 3) ความกว้างของประตูหนีไฟ (Width of Escape Door) 4) ตำแหน่งการเกิดไฟ (Fire Location) และ 5) ความหนาแน่นของผู้อพยพ (Density of Evacuee) ที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการอพยพของผู้อพยพทุกคน (Completion Time for All Occupants) ระยะเวลาในการอพยพโดยรวมของผู้อพยพคนสุดท้าย (Total evacuation time based on the last occupant) และจำนวนผู้อพยพที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงเวลา ตามลำดับ

5.2 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นบริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร (Home appliances factory) โดยประกอบไปด้วยอาคารโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 5 อาคารหลัก (ภาพที่ 5.1) โดยอาคารที่ทำการจำลองการเกิดเพลิงไหม้และจำลองการอพยพเป็นอาคารขนาด 3 ชั้น ตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของกลุ่มอาคารอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5.1 (a) ส่วนในภาพที่ 5.1 (b) แสดงแผนผัง layout ส่วนประกอบของอาคารชั้น 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นโล่งถึงเพดาน โดยเป็นส่วนงานผลิตที่มีเครื่องจักรสำหรับผลิตชิ้นส่วน และบางส่วนของพื้นที่เป็นพื้นที่สำหรับเก็บวัตถุดิบไวไฟ นอกจากนี้ภาพที่ 5.1(c) แสดงช่วงพื้นที่ชั้น 2 ที่เป็นส่วนงานประกอบผลิตภัณฑ์ และบริเวณชั้น 3 ที่เป็นสำนักงานสนับสนุนและห้องประชุม

โดยอาคารนี้มีบันไดหนีไฟ และช่องทางออกจากอาคารในตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงด้วยลูกศรในภาพที่ 5.1 (d)

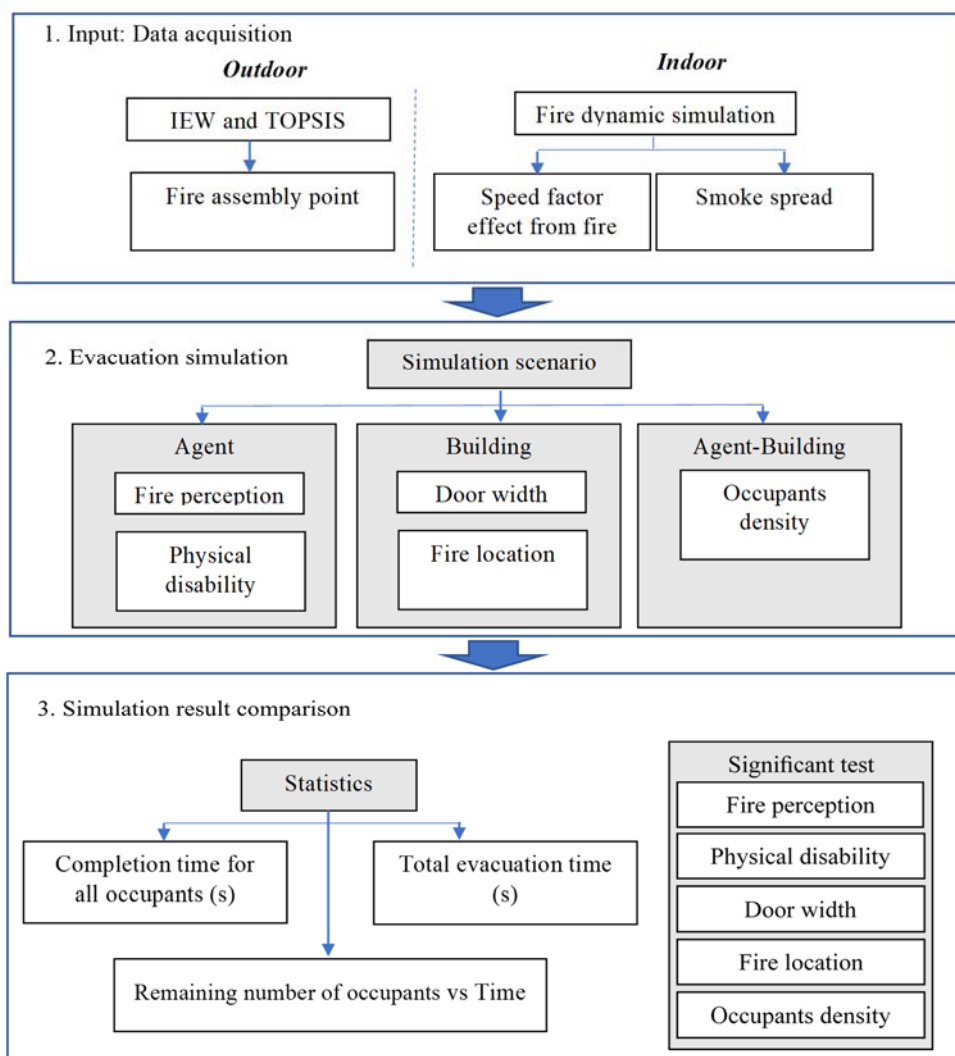
ทั้งนี้ ในช่วงเวลาที่มีการผลิตปกติ จะมีจำนวนผู้ใช้อาคารประมาณ 1,000 คน โดยประมาณการว่าจะมีคนอยู่ในอาคารประมาณ 700 คน ในช่วงเวลาที่มีการผลิตเบาบาง เช่น ช่วงการทำงานล่วงเวลา (Over time) ส่วนช่วงเวลาที่มิผู้ใช้อาคารมากที่สุดคือช่วงเวลาที่มีการผลิตเต็มที่และมีการใช้ห้องประชุมในอาคารเพื่อจัดกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งจะมีผู้ใช้อาคารประมาณ 1,300 คน โดยมาตรฐาน National Fire Protection Association: NFPA 101 (NFPA, 2017) แนะนำว่าการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้ ควรมีการพิจารณาแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ เป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดไฟไหม้ 2 จุด โดยจุดแรกได้ทำการจำลองที่บริเวณชั้น 1 (ภาพที่ 5.1 (b)) โดยเป็นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงที่เป็นพลาสติก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทั่วไป (Ordinary combustible) ที่มีอยู่ในอาคาร ส่วนจุดที่สองได้ทำการจำลองที่บริเวณชั้น 3 (ภาพที่ 5.1 (c)) ซึ่งเป็นการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ใกล้กับเส้นทางหนีไฟ ส่งผลให้เส้นทางหนีไฟบริเวณนั้นไม่สามารถใช้งานได้



ภาพที่ 5.1 แผนผังของกรณีศึกษา (Fire Case study layout)

5.3 การออกแบบการทดลอง

กรอบแนวคิดการวิจัยในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังแสดงในภาพที่ 5.2 โดยในส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์หาจุดรวมพลที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิค IEW และ TOPSIS เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปป้อนเป็นข้อมูล Exit point ในโมเดลแบบจำลองการอพยพ นอกจากนี้ ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ (Fire Simulation) ในอาคาร เพื่อเก็บค่า Visibility จากข้อมูล Smoke Spread เพื่อวิเคราะห์คำนวณค่า Speed Factor ของผู้ใช้อาคาร และนำไปใช้ป้อนเข้าสู่โมเดลแบบจำลองการอพยพเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเพลิงไหม้ที่มีต่อการอพยพของคนในอาคาร ในส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองการอพยพ (Evacuation simulation) สำหรับผู้ใช้อาคาร โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพจำนวน 5 ปัจจัยหลัก โดยเป็นปัจจัยเกี่ยวกับ Agent 2 ปัจจัย คือ Fire Perception และ Physical Disability ปัจจัยเกี่ยวกับ Building 2 ปัจจัย คือ Door width และ Fire location และปัจจัยเกี่ยวกับ Agent-Building 1 ปัจจัย คือ Occupant Density จากนั้น ในส่วนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองการอพยพ โดยวิเคราะห์ Completion time for all occupants, Total evacuation time based on the last occupant, และ Remaining number of occupants และสุดท้าย เป็นการใช่วิธีการทางสถิติ โดยใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ผลกระทบของ Factor ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง



ภาพที่ 5.2 กรอบแนวทางการศึกษา

ในการศึกษานี้ ผู้ทำวิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยศึกษาเกี่ยวกับปัจจัย (Factor) หลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอพยพหนีไฟจากอาคาร โดยวิเคราะห์ปัจจัยทางด้าน Agent Characteristics และ Building Characteristics รวม 5 ปัจจัย ซึ่งมีระดับของแต่ละปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ (ตารางที่ 5.1)

5.3.1 ปัจจัยทางด้าน Agent Characteristics ทางด้านการรับรู้ข้อมูลของอาคารและการเกิดเพลิงไหม้ของผู้อพยพ (Fire Perception) ซึ่งมีสองระดับคือ 1) 100 % หมายถึง ผู้อพยพมีระดับของ Fire Perception ในเกณฑ์ดีทุกคน และ 2) 90% หมายถึง มีผู้อพยพร้อยละ 90 ที่มี Fire Perception ในเกณฑ์ดี ส่วนอีกร้อยละ 10 ได้รับข้อมูลการเกิดไฟไหม้ไม่ทั่วถึง

5.3.2 ปัจจัยทางด้าน Agent Characteristics ทางด้านลักษณะทางกายภาพของผู้อพยพ (Physical Disability) ซึ่งมีสองระดับคือ 1) กรณีที่ไม่มีผู้พิการ และ 2) กรณีที่มีผู้พิการร้อยละ 1 ที่ใช้ Wheelchair จากจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด โดย assume ว่ามีการกำหนดจำนวนผู้พิการในการทำงานในอาคารด้วย (Shields, 1994)

5.3.3 ปัจจัยทางด้าน Building Characteristics ทางด้านความกว้างของประตูหนีไฟของอาคาร (Width of escape door) ซึ่งแบ่งเป็นสองระดับคือ 1) กรณีความกว้างประตูในปัจจุบันคือ 80 เซนติเมตร และ 2) กรณีสมมุติ ความกว้างของประตูเป็น 110 เซนติเมตร เพื่อศึกษาผลกระทบของประตูที่กว้างขึ้นระหว่างการอพยพ (De-Ching and et al., 2011)

5.3.4 ปัจจัยทางด้าน Building Characteristics ทางด้านตำแหน่งของการเกิดเพลิงไหม้ในอาคาร (Fire Location) ซึ่งมีสองระดับคือ 1) กรณีไฟเกิดในตำแหน่งชั้นหนึ่งของกรณีศึกษา ในอาคาร Injection 1st Floor และ 2) กรณีไฟเกิดในตำแหน่งชั้นสามของกรณีศึกษา ในอาคาร Sever Room 3rd Floor

5.3.5 ปัจจัยทางด้านจำนวนผู้อพยพในอาคาร (Density of Evacuee) ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงของความหนาแน่นของ Agent กับการใช้ Building ซึ่งมีสามระดับคือ 1) จำนวนผู้ใช้อาคารเบาบาง (Low Density = 700 คน) ซึ่งแสดงช่วงเวลาที่มีการผลิตไม่เต็มที่ เช่นช่วง Low Season ของการผลิต 2) จำนวนผู้ใช้อาคารจำนวนปานกลาง (Normal Density = 1,000 คน) ซึ่งแทนช่วงเวลาการผลิตปกติของทางบริษัทกรณีศึกษา และ 3) จำนวนผู้อพยพหนาแน่น (High Density = 1,300 คน) ซึ่งเป็นช่วงเวลา High Season ของการผลิตและมีการใช้ห้องประชุมต่างๆ ในอาคารอย่างเต็มที่

นอกจากนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ในแต่ละ Scenario โดยทำการวิเคราะห์ผล 10 รอบ (Trials) สำหรับการเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษากับเคสเปรียบเทียบ โดยเคสเปรียบเทียบ (Base Scenario หรือ Scenario 0) เป็นกรณีที่พนักงานทุกคน มีการรับรู้ข้อมูลของอาคารและการเกิดเพลิงไหม้ที่ดี 100% ในอาคารไม่มีผู้พิการ มีประตูหนีไฟขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร ตำแหน่งการเกิดไฟในชั้น 1 และมีจำนวนผู้อพยพ 1,000 คนโดยแสดงรายละเอียด Scenarios ที่วิเคราะห์ทั้งสิ้น 6 Scenarios ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งมีจำนวนผลการวิเคราะห์รวม Base Scenario และ What-if Scenarios ทั้งสิ้น $7 \times 10 = 70$ Trial Runs ในการออกแบบการวิจัยนี้

ตารางที่ 5.1 Characteristics, Factors และ Levels ของการทดลอง

Characteristics	Factors	Levels
Agent	1) Fire Perception	1) 100% perception 2) 90% perception
	2) Physical Disability	1) No disabled person 2) 1% disabled person
Building	3) Width of Escape Door	1) 80 centimeters 2) 110 centimeters
	4) Fire Location	1) First floor 2) Third floor
Agent-Building	5) Density of Evacuee	1) Low density 2) Normal density 3) High density

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดในการออกแบบการทดลองในแต่ละ Scenario

Scenario	Agent		Building		Agent-Building
	Fire Perception	Physical Disability	Door Width (centimeter)	Fire Location	Density of Evacuee
Scenario 0 (Base)	100%	No	80	First floor	Normal
Scenario 1	90%	No	80	First floor	Normal
Scenario 2	100%	Yes	80	First floor	Normal
Scenario 3	100%	No	110	First floor	Normal
Scenario 4	100%	No	80	First floor	Low
Scenario 5	100%	No	80	First floor	High
Scenario 6	100%	No	80	Third floor	Normal

หมายเหตุ: Bold font indicates examined factor in each scenario

5.4 การวิเคราะห์เลือกจุดรวมพลหนีไฟที่เหมาะสมด้วยค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีและเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ

การวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉิน (Emergency Planning) เป็นเรื่องสำคัญสืบเนื่องจากความรุนแรงของอุบัติภัยต่าง ๆ ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อไม่นานมานี้ โดยเพลิงไหม้ ถือเป็นอุบัติภัยร้ายแรงอย่างหนึ่ง ที่นำมาซึ่งความสูญเสียอย่างใหญ่หลวง ทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อร่างกาย การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน โดยจากอดีตที่ผ่านมาพบว่ามีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ตั้งแต่ปี 2532 – 2561 พบว่ามีการเกิดอัคคีภัยขึ้นในประเทศไทยกว่า 59,387 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 2,076 คน ผู้บาดเจ็บ 5,413 คน มูลค่าความเสียหายกว่า 40,619 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2562: เว็บไซต์) โดยในประเทศไทยเอง ปัจจุบันหน่วยงานของภาครัฐและเอกชนได้มีความตระหนักถึงความสำคัญด้านการป้องกันอัคคีภัยกันมากขึ้นและเริ่มรณรงค์ให้เกิดความปลอดภัยในการใช้อาคารต่าง ๆ โดยได้มีการกำหนดนโยบายต่าง ๆ อย่างจริงจัง

โดยในสถานการณ์ไฟไหม้ ผู้ที่ประสบเหตุการณ์มักจะตอบโต้ด้วยความตื่นตระหนก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้อพยพจะได้รับคำแนะนำและได้รับการสื่อสารหรือนำทางให้ไปยัง จุดรวมพล (Muster/Assembly Point) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้อพยพเกิดการกระจัดกระจาย ซึ่งหากมีการอพยพไปคนละจุดหมายแล้ว จะส่งผลกระทบต่อการตรวจนับ จำนวนผู้อพยพ และตรวจสอบรายชื่อของผู้อพยพไม่ครบถ้วน ซึ่งอาจเสี่ยงอันตรายในการย้อนกลับเข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยโดยไม่จำเป็น ทั้งนี้ โดยนิยามแล้ว จุดรวมพล หมายถึงจุดนัดหมายที่ปลอดภัย ที่ผู้อพยพจากบริเวณที่เกิดเหตุ สามารถอพยพ มารวมกันเพื่อรายงานและนับจำนวนได้ (ราชกิจจานุเบกษา, 2559) โดยหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ได้มีการกำหนดให้มีการอพยพไปยังจุดรวมพลไว้ในข้อปฏิบัติ ขั้นตอนการอพยพและแผนงานการอพยพหนีไฟ เพื่อให้ผู้อพยพอพยพไปยังจุดที่ปลอดภัย (สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัย, 2563: เว็บไซต์) ยกตัวอย่าง

เช่นการอพยพควรเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ปลอดภัย โดยใช้บันไดหนีไฟ และห้ามใช้ลิฟต์เนื่องจากลิฟต์อาจติดค้าง รวมถึงการไม่ควรอพยพไปที่จุดอัปในอาคาร เช่น ห้องน้ำ ห้องใต้ดิน รวมถึงหนีไฟขึ้นไปบนชั้นดาดฟ้า เนื่องจากไฟอาจลุกลามจากด้านล่างขึ้นบน ยากต่อการช่วยเหลือของเจ้าหน้าที่ เป็นต้น

ทั้งนี้ ในการพิจารณาเลือกจุดรวมพลนั้น มีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาซึ่งอาจมีความขัดแย้งกัน เพื่อทำการตัดสินใจเลือกจุดที่เหมาะสม ในการรองรับสถานการณ์ไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจริง เช่น ขนาดที่เหมาะสมต่อการรองรับจำนวนผู้อพยพ รวมทั้งจำนวนทางเลือกของจุดรวมพล อย่างน้อยสองจุด เพื่อเป็นทางเลือกในการหลบหลีกปัจจัยความเสี่ยงต่าง ๆ อันเกิดขึ้นจากการสถานการณ์ไฟไหม้

นอกจากนี้จุดรวมพล ควรเป็นจุดที่เข้าถึงได้ง่ายต่อคนทุกคน และตำแหน่งของจุดรวมพลควรมีเครื่องหมายที่แสดงตำแหน่งอย่างชัดเจน (Kerry Fire and Rescue, 2013) และจุดรวมพลควรอยู่ในระยะที่ห่างไกลจากจุดที่เกิดเหตุ เพื่อที่ผู้อพยพห่างไกลจากอิทธิพลของความร้อนและควันไฟ ตลอดจนทั้งเศษซากวัสดุอาคารที่อาจเกิดการพังทลาย นอกจากนี้การพิจารณาจุดรวมพลยังควรคำนึงถึงโอกาสในการจะเจอกับความเสี่ยงภัยอื่น ๆ ด้วยเพื่อให้มั่นใจว่าการอพยพ รวมถึงในช่วงระหว่างการฝึกซ้อมดับเพลิงและอพยพหนีไฟ สามารถดำเนินได้ราบรื่น (Fire Action, 2016)

โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเลือกจุดรวมพลที่เหมาะสมภายใต้หลากหลายปัจจัย โดยทำการศึกษาโดยใช้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกจุดรวมพล ด้วยเทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี (Information Entropy Weight) ร่วมกับการวิเคราะห์ทางเลือกของจุดรวมพลด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

5.4.1 กรณีศึกษาและผลการวิเคราะห์จุดรวมพลอพยพหนีไฟ

ในงานวิจัยนี้ ใช้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องมือเครื่องใช้ในบ้าน (Home Appliance Factory) ดังแสดงในภาพที่ 5.3 ทั้งนี้โรงงานอุตสาหกรรมแห่งนี้ประกอบไปด้วยอาคารส่วนผลิตหลัก 4 อาคาร และอาคารส่วนคลังสินค้าหลัก 1 อาคาร โดยมีบริเวณพื้นที่ว่างรอบโรงงานที่สามารถนำมากำหนดเป็นทางเลือก (Alternative) ของจุดรวมพลได้ 4 จุด ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ประกอบด้วย จุดที่ 1 บริเวณด้านหน้าโรงงานใกล้อาคารผลิต 2 จุดที่ 2 บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้ปั๊อมยาม จุดที่ 3 บริเวณลานจอดรถบัส ใกล้อาคารผลิต 4 และจุดที่ 4 บริเวณพื้นที่ว่างด้านหลังโรงงานใกล้อาคารคลังสินค้า นอกจากนี้ มีส่วนบริเวณแหล่งสารไวไฟ 3 แห่ง ห้องพยาบาล และมีทิศทางในการใช้ถนนภายในโรงงานดังแสดงด้วยลูกศรตามเส้นทางต่าง ๆ

ตารางที่ 5.3 ทางเลือกจุดรวมพลอพยพหนีไฟ

ทางเลือก	ตำแหน่ง
1	บริเวณด้านหน้าโรงงานใกล้อาคารผลิต 2
2	บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้ปัอมยาม
3	บริเวณลานจอดรถบัส ใกล้อาคารผลิต 4
4	บริเวณพื้นที่ว่างด้านหลังโรงงานใกล้อาคารคลังสินค้า



ภาพที่ 5.3 แผนผังโรงงานกรณีศึกษา

นอกจากนี้ ปัจจัย (Criteria) ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย 7 ปัจจัย (Kerry Fire and Rescue, 2013; Fire Action, 2016) ดังแสดงในตารางที่ 5.4 โดยปัจจัยต่าง ๆ มีลักษณะแบบที่ยิ่งเยอะยิ่งดี (Max) และแบบที่ยิ่งน้อยดี (Min) ที่แตกต่างกัน นั่นคือ 1) ระยะทางจากพื้นที่อาคารไปจุดรวมพล (A) 2) ขนาดความจุของจุดรวมพล (B) 3) ระยะห่างระหว่างจุดที่อันตรายบริเวณพื้นที่โรงงานกับจุดรวมพล (C) 4) ระยะห่างระหว่างทางออกไปนอกพื้นที่โรงงานกับจุดรวมพล (D) 5) ความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล (E) 6) จำนวนเส้นทางการอพยพที่เชื่อมต่อกับจุดรวมพล (F) และ 7) ระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล (G) ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์จุดรวมพล

ปัจจัย	คำอธิบาย	หน่วย	ลักษณะ
A	ระยะทางพื้นที่อาคารกับจุดรวมพล	เมตร	Min
B	ขนาดความจุของจุดรวมพล	ตารางเมตร	Max
C	ระยะห่างจุดอันตรายกับจุดรวมพล	เมตร	Max
D	ระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมพล	เมตร	Min
E	ความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล	เมตร	Max
F	จำนวนเส้นทางอพยพเชื่อมต่อกับจุดรวมพล	เส้นทาง	Max
G	ระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล	เมตร	Min

ทั้งนี้ แสดงผลการเก็บข้อมูลในพื้นที่สำหรับแต่ละทางเลือกและแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 5.5 เส้นทางเลือกจุดรวมพลที่ 1 มีระยะทางพื้นที่อาคารกับจุดรวมพล คิดเป็น 350 เมตร มีขนาดความจุของจุดรวมพล 1,500 ตารางเมตร มีระยะห่างจุดอันตรายกับจุดรวมพล 130 เมตร มีระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมพล 60 เมตร มีความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล 8 เมตร มีจำนวนเส้นทางอพยพเชื่อมต่อกับจุดรวมพล 2 เส้นทาง และมีระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล 250 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายความสำหรับทางเลือกจุดรวมพลอื่น ๆ ภายใต้อปัจจัยต่าง ๆ ได้ในทำนองเดียวกัน

ทั้งนี้ เป็นที่ชัดเจนว่าทางเลือกต่าง ๆ มีจุดเด่นทางด้านปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกจุดรวมพลการอพยพที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นทางเลือกจุดรวมพลที่ 1 พบว่าปัจจัย D มีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีความโดดเด่นที่สุด ในขณะที่ทางเลือกจุดรวมพลที่ 2 พบว่าปัจจัย A มีค่าน้อยที่สุด และปัจจัย C มีค่ามากที่สุดซึ่งมีความโดดเด่นกว่าทางเลือกอื่น ๆ ส่วนทางเลือกที่ 3 มีจุดเด่นในปัจจัย B ซึ่งมีค่ามากที่สุด เป็นต้น

ตารางที่ 5.5 ผลการเก็บข้อมูล

ปัจจัย	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2	ทางเลือก 3	ทางเลือก 4
A	350	200	380	370
B	1500	1200	2500	1800
C	130	210	200	60
D	60	100	380	610
E	8	8	6	6
F	2	3	2	1
G	250	120	326	430

5.4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยโดยใช้วิธีเทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) แสดงในตารางที่ 5.6 โดยแสดงค่าโปรเจกชัน (p_{ij}) ค่าเอนโทรปี (e_j) ค่าระดับความแตกต่าง (div_j) และค่าน้ำหนักของปัจจัย (w_j) ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีความเข้มข้นของข้อมูลสูงสุดสามลำดับแรกคือปัจจัย D ปัจจัย C และปัจจัย G ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW

p_{ij}						
A	B	C	D	E	F	G
0.27	0.15	0.29	0.28	0.27	0.15	0.29
0.21	0.17	0.36	0.26	0.21	0.17	0.36
0.22	0.35	0.33	0.10	0.22	0.35	0.33
0.05	0.09	0.33	0.53	0.05	0.09	0.33
e_j						
0.98	0.97	0.93	0.77	0.99	0.95	0.94
div_j						
0.02	0.03	0.07	0.23	0.01	0.05	0.06
w_j						
0.04	0.06	0.15	0.50	0.02	0.10	0.13

5.4.3 ผลการวิเคราะห์ทางเลือกจตุรรวมพลด้วยวิธีการ TOPSIS

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ TOPSIS แสดงตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ โดยทำการปรับสเกล (r_{ij}) และตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว (v_{ij}) ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ เช่นเมื่อพิจารณาทางเลือก 1 ภายใต้ปัจจัย A มีค่า $r_{11} = 0.53$ และมีค่าน้ำหนักของปัจจัย A หรือ w_1 ที่คำนวณก่อนหน้านี้คือ 0.04 ดังนั้นสามารถคำนวณค่า $v_{11} = 0.53 * 0.04 = 0.02$ เป็นต้น

นอกจากนี้ สามารถคำนวณค่า PIS หรือ A^* และค่า NIS หรือ A' ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.9 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 5.8 โดยพิจารณาทุกทางเลือก เฉพาะปัจจัย A ซึ่งเป็นแบบยิ่งน้อยยิ่งดี พบว่าทางเลือกที่ 2 ดีที่สุดด้วยค่า 0.01 และทางเลือกที่ 3 แย่ที่สุดด้วยค่า 0.03 ในขณะที่เมื่อพิจารณาปัจจัย B ซึ่งเป็นแบบยิ่งมากยิ่งดี พบว่าทางเลือกที่ 3 ดีที่สุดด้วยค่า 0.04 ในขณะที่ทางเลือกที่แย่ที่สุด คือทางเลือก 1 และ 2 ที่ค่า 0.02 เป็นต้น

ตารางที่ 5.7 เมตริกซ์การทำการตัดสินใจโดยทำการปรับสเกล (r_{ij})

ปัจจัย	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2	ทางเลือก 3	ทางเลือก 4
A	0.53	0.30	0.57	0.56
B	0.41	0.33	0.69	0.50
C	0.40	0.65	0.62	0.19
D	0.08	0.14	0.52	0.84
E	0.57	0.57	0.42	0.42
F	0.47	0.71	0.47	0.24
G	0.41	0.20	0.54	0.71

ตารางที่ 5.8 เมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว (v_{ij})

ปัจจัย	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2	ทางเลือก 3	ทางเลือก 4
A	0.02	0.01	0.03	0.02
B	0.02	0.02	0.04	0.03
C	0.06	0.09	0.09	0.03
D	0.04	0.07	0.26	0.42
E	0.01	0.01	0.01	0.01
F	0.05	0.07	0.05	0.02
G	0.06	0.03	0.07	0.10

ตารางที่ 5.9 ค่า PIS และค่า NIS ของวิธี TOPSIS

ปัจจัย	PIS (A^*)	NIS (A')
A	0.01	0.03
B	0.04	0.02
C	0.09	0.03
D	0.04	0.42
E	0.01	0.01
F	0.07	0.02
G	0.03	0.10

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) สำหรับแต่ละทางเลือกของจุดรวมพล ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 5.10 โดยผลที่ได้แสดงว่าสามารถทำการจัดอันดับทางเลือกของจุดรวมพลได้คือ ทางเลือกที่ 2 (0.91) ดีกว่าทางเลือกที่ 1 (0.87) ดีกว่าทางเลือกที่ 3 (0.44) และทางเลือกที่ 4 (0.02) ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าจุดรวมพลบริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ້อมยามเป็นบริเวณที่มีความเหมาะสมที่สุดนั่นเอง

ตารางที่ 5.10 ค่า S_i^* ค่า S_i' และค่า C_i^*

ทางเลือก (จุดรวมพลที่)	S_i^*	S_i'	C_i^*	จัดอันดับ (Ranking)
1	0.06	0.38	0.87	2
2	0.03	0.37	0.91	1
3	0.23	0.17	0.44	3
4	0.39	0.01	0.02	4

5.5 ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ด้วยโปรแกรม Pyrosim ร่วมกับแบบจำลองการอพยพออกจากอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม Pathfinder โดยผลที่ได้จากการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการอพยพอย่างบูรณาการ ร่วมกับการใช้ทางเลือกของจุดรวมพลที่ได้จากการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis) ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

5.5.1 การจำลองการเกิดเพลิงไหม้ (Fire Simulation Model)

5.5.1.1 ตำแหน่งการเกิดไฟไหม้

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการสร้างแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม Pyrosim โดยพิจารณาใช้สองตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของการเกิดเพลิงไหม้ที่มีลักษณะความรุนแรงที่ต่างกัน โดยอาคารกรณีศึกษาประกอบไปด้วยหลายโซน โดยมีโซนที่เป็นพื้นที่ชั้นเดียวและพื้นที่ด้านบนโถงจนถึงเพดาน และโซนที่เป็นพื้นที่สามชั้นโดยมีเพดานร่วมกันของทั้งอาคาร โดยได้ทำการศึกษาการกระจายตัวและการเคลื่อนที่ของควันตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป และผลกระทบต่อการมองเห็นและการเคลื่อนไหวของผู้อพยพ ตามลำดับ

ทั้งนี้ตำแหน่งแรกของการเกิดเพลิงไหม้เป็นการจำลองกรณีการเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณชั้น 1 ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ชั้นเดียว บริเวณช่วงกึ่งกลางของอาคารผลิต ที่เป็นกรณีศึกษา (Case study) ซึ่งเป็นส่วนงานฉีดยาสี โดยส่วนประกอบของอาคารที่สำคัญที่อยู่ใกล้ส่วนที่เกิดเพลิงไหม้บริเวณนี้ คือ ส่วนงานปั๊มขึ้นรูป ส่วนคลังวัตถุดิบ และส่วนพับขึ้นรูปโลหะ โดยอาคารในส่วนงานฉีดยาสีนี้เป็นส่วนอาคารที่มีพื้นที่โถงขึ้นไปถึงเพดานของอาคาร ซึ่งคาดการณ์ว่าการเกิดเพลิงไหม้จะมีการกระจายตัวของควันที่ดีเนื่องจากมีลักษณะโปร่งขึ้นไปถึงเพดาน นอกจากนี้ ในตำแหน่งที่

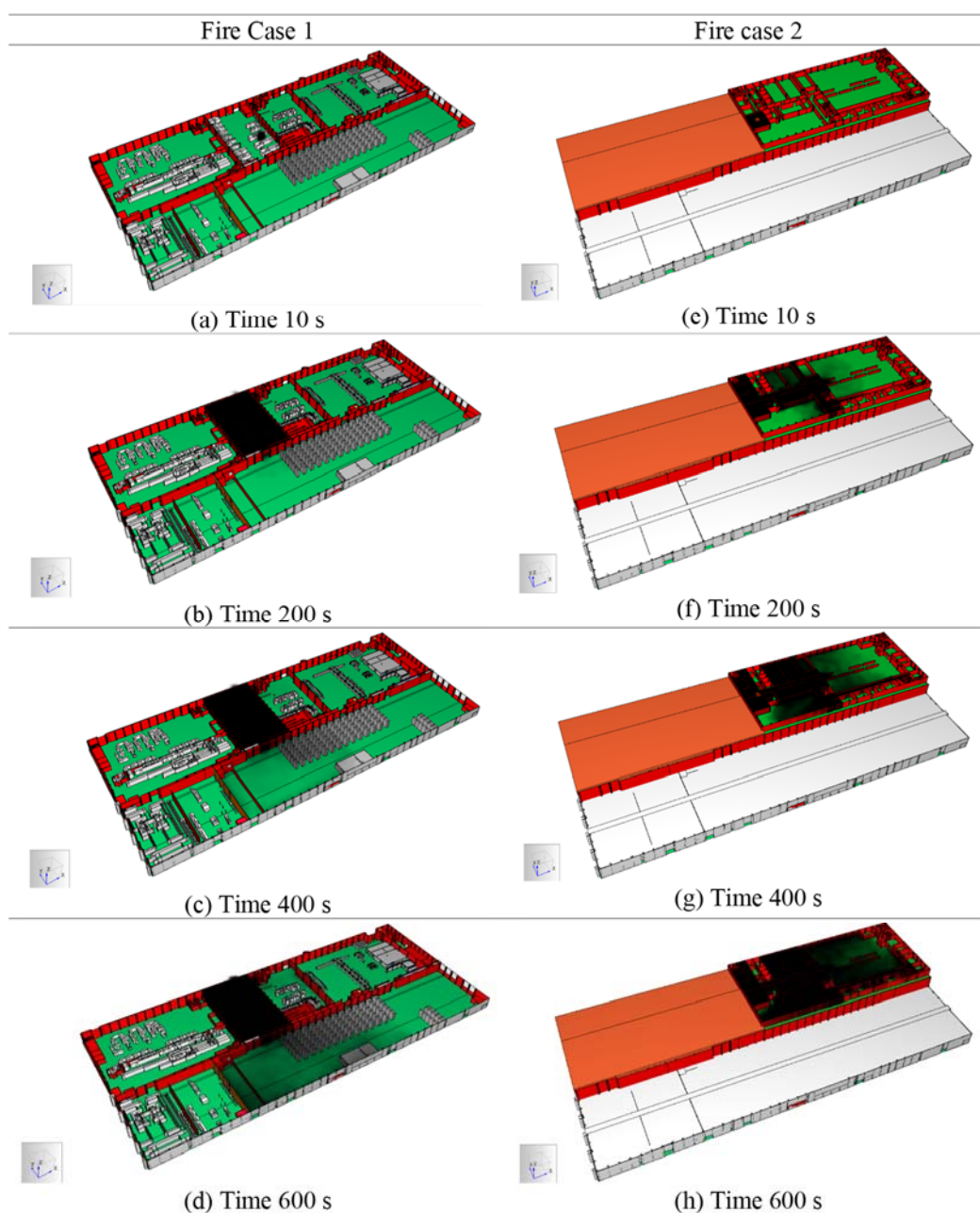
สองของการเกิดเพลิงไหม้ เป็นการจำลองกรณีการเกิดไฟไหม้บริเวณชั้นสามของอาคารผลิตส่วนที่เป็น 3 ชั้น โดยจำลองการเกิดไฟไหม้ขึ้นที่ห้อง Server room บริเวณด้านริมของอาคาร ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีการเกิดควันไฟที่หนาแน่นกว่าการเกิดเพลิงไหม้ในกรณีแรกและเป็นอุปสรรคต่อการอพยพของคนในอาคารมากกว่า ทั้งนี้ส่วนประกอบของอาคารที่สำคัญที่อยู่ใกล้เคียงส่วนนี้คือ ช่องทางเดิน (Corridors) ไปยังบันไดหนีไฟ ส่วนห้องเก็บพัสดุ ห้องทดสอบคุณภาพชิ้นส่วน ห้องประชุมรวม และส่วนที่เป็นสำนักงาน

5.5.1.2 ผลการจำลองการเกิดเพลิงไหม้

ผลการแพร่กระจายและการเคลื่อนที่ของควันไฟในแต่ละช่วงเวลาสำหรับการเกิดไฟไหม้จากโปรแกรม Pyrosim ตามตำแหน่งที่ 1 และ 2 ของอาคารกรณีศึกษาแสดงในภาพที่ 5.4 ซึ่งพบว่าควันไฟที่เกิดขึ้นส่งผลต่อการมองเห็นและการเคลื่อนไหวของผู้อพยพในแบบจำลองในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

สำหรับการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งที่ 1 บริเวณโซนที่เป็นบริเวณที่เป็นพื้นที่ชั้นเดียว บริเวณช่วงกึ่งกลางของอาคารผลิตกรณีศึกษา (ภาพที่ 5.4 (a) – 5.4 (d)) พบว่าในช่วง 10 วินาทีแรกที่เกิดเพลิงไหม้ขึ้น มีควันไฟยังคงอยู่เฉพาะในบริเวณจุดที่เกิดเหตุ (ภาพที่ 5.4 (a)) หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 200 วินาที (3.3 นาที) พบว่าควันไฟได้มีการแพร่กระจายจากตำแหน่งที่เกิดเหตุจนเต็มพื้นที่ของแผนกฉีดพลาสติก (ภาพที่ 5.4 (b)) ทั้งนี้ เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที (6.6 นาที) พบว่าควันไฟได้เริ่มแพร่กระจายจากห้องที่เกิดเหตุ ออกไปยังส่วนด้านข้างที่เป็นคลังวัตถุดิบ (ภาพที่ 5.4 (c)) และเมื่อเวลาผ่านไป 600 วินาที (10 นาที) พบว่าควันไฟได้แพร่กระจายจากห้องที่เกิดเหตุไปยังส่วนงานด้านที่เป็นคลังวัตถุดิบมากขึ้น และมีควันไฟบางส่วนกระจายไปยังส่วนงานพับขึ้นรูปโลหะ (ภาพที่ 5.4 (d)) ตามลำดับ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งที่ 2 บริเวณโซนที่เป็นชั้นสามของอาคารผลิตส่วนที่เป็น 3 ชั้น สำหรับไฟเกิดขึ้นในห้อง Server Room (ภาพที่ 5.4 (e) – 5.4 (h)) พบว่าหลังจาก 10 วินาทีผ่านไป ได้มีควันไฟอยู่ในห้องที่เกิดไฟไหม้ ดังแสดงในภาพที่ 5.4 (e) เมื่อเวลาผ่านไป 200 วินาที (3.3 นาที) พบว่าควันไฟได้แพร่กระจายออกจากห้องที่เกิดเหตุ ออกไปยังห้องข้างเคียงและบริเวณ Corridor และ Staircase ดังแสดงในภาพที่ 5.4 (f) หลังจากนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที (6.6 นาที) พบว่าควันไฟได้เริ่มแพร่กระจายครอบคลุมไปยังพื้นที่อื่นมากขึ้น โดยควันไฟได้เริ่มแพร่กระจายเข้าไปในส่วนของ Main Office และห้องประชุมรวม ดังแสดงในภาพที่ 5.4 (g) และเมื่อถึงเวลา 600 วินาที (10 นาที) พบว่าควันไฟได้แพร่กระจายและคลุมพื้นที่ห้องประชุมรวม และ Main Office เกือบทั้งหมด โดยผ่านไปยัง Corridor ต่าง ๆ โดยมีควันไฟกระจายตัวคลุมกว่าร้อยละ 95 ของชั้นที่เกิดเหตุ ดังแสดงในภาพที่ 5.4 (h) ตามลำดับ



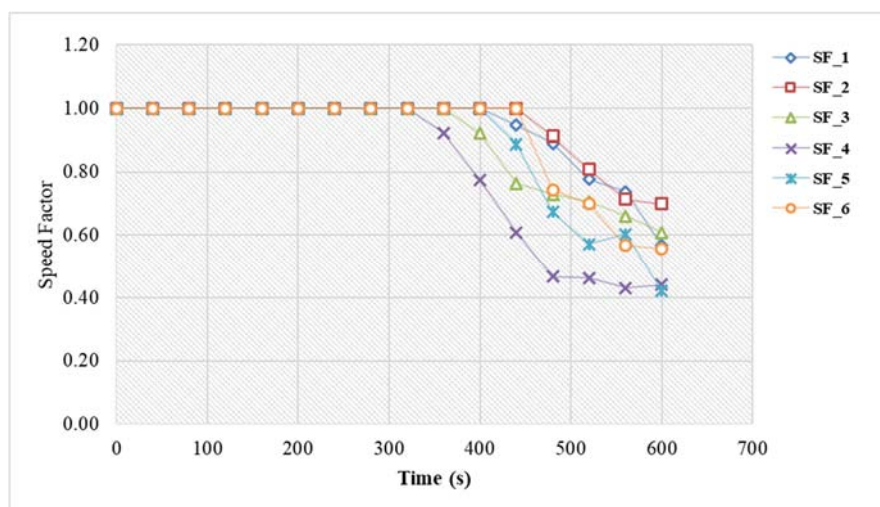
ภาพที่ 5.4 การแพร่กระจายของควันไฟ

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ทั้ง 2 จุด พบว่าในจุดที่ 1 จะเห็นการกระจายตัวของควันไฟอยู่ในพื้นที่ของห้องที่เกิดเพลิงไหม้เป็นหลัก โดยมีการกระจายตัวของควันไฟออกไปนอกห้องที่เกิดไฟเพียงปริมาณน้อย เนื่องจากลักษณะของห้องมีความสูง มีพื้นที่รองรับควันที่เกิดขึ้นจำนวนมาก ส่วนการเกิดไฟในตำแหน่งที่ 2 จะเห็นว่าการกระจายตัวของควันไฟออกไปยังพื้นที่โถงทางเดิน และห้องอื่น ๆ โดยควันไฟมีการกระจายตัวออกไปยังพื้นที่อื่น ๆ มากกว่ากรณีการเกิดไฟในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งส่งผลให้เกิดไฟไหม้ในกรณีที่ 2 มีความเป็นอันตรายมากกว่ากรณีที่ 1 ตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องด้วยสภาพของพื้นที่และการกระจายควันไฟที่ส่งผลกระทบกับพื้นที่อื่น ๆ มากกว่า

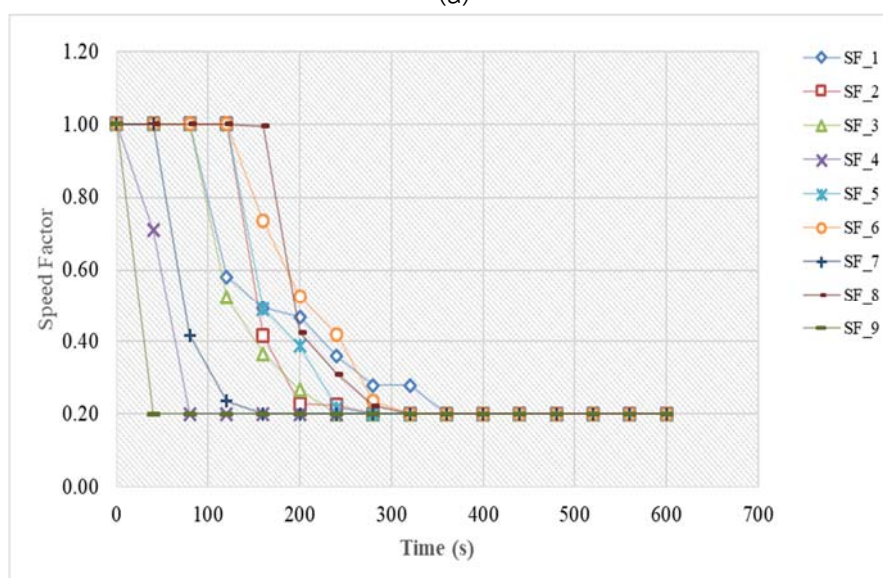
นอกจากนี้ เมื่อทำการเก็บข้อมูลค่าความสามารถในการมองเห็น (Visibility) ซึ่งทำการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด (Visibility Measurement Device) ในแบบจำลอง FDS (PyroSim/FDS Model) เพื่อทำการตรวจวัดค่าความสามารถในการมองเห็น (Visibility) ในตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่และในเส้นทางการอพยพ โดยค่า Visibility ที่เปลี่ยนแปลงไป จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่า Speed Factor ของผู้อพยพ ซึ่งเป็นตัวแปรที่แบบจำลองการอพยพใช้ในการกำหนดการเคลื่อนไหวของ Agent จากผลกระทบของการเกิดไฟไหม้ ทั้งนี้ ผลจากค่า Speed Factor จะส่งผลกระทบต่อผลกระทบความเร็ว รวมถึงการปรับเปลี่ยนเส้นทางการอพยพของผู้ใช้อาคาร โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ค่า Walking Speed ในสถานการณ์ที่ต้องอพยพผ่านควันไฟของผู้อพยพ ดังแสดงในสมการที่ 5.1 โดยใช้สมการของ Fridolf and et al. (2018) ซึ่งค่า *vis* แทนค่าการมองเห็นของผู้อพยพ ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลขที่ได้จากอุปกรณ์ (Visibility Measurement Device) ที่ติดตั้งไว้ในโมเดลแบบจำลอง FDS หลังจากนั้นนำ ผลของ Visibility Data จากการ Run โปรแกรม Pyrosim มาคำนวณเป็นค่า Speed Factor สำหรับป้อนเข้าในโปรแกรม Pathfinder สำหรับการศึกษาวิเคราะห์รูปแบบการอพยพต่อไป

$$Speed (m/s) = \min (\max (0.2; 1 - 0.34 \times (3 - vis))) \quad (5.1)$$

ทั้งนี้แสดงตัวอย่างกราฟของ Speed Factors ที่บันทึกได้จากการ Run Program โดยพิจารณาตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ทั้งสองตำแหน่งในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 5.5 โดยภาพที่ 5.5 (a) แสดงค่า Speed factor (SF) ที่ได้จากการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งชั้น 1 ของอาคาร และภาพที่ 5.5 (b) แสดงค่า Speed factor (SF) ที่ได้จากการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งชั้น 3 ของอาคาร ซึ่งมีการติดตั้ง Sensor ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป แนวโน้มของระดับการมองเห็นหรือค่า Visibility จะน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ค่า Speed Factors มีระดับที่ลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ค่า Speed Factors ของการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเริ่มมีการลดลงในช่วงเวลาที่ผ่านไปประมาณ 300 วินาที ในขณะที่การเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเกิดการลดลงของ Speed Factor แทบจะทันทีเมื่อเกิดไฟไหม้ขึ้น



(a)



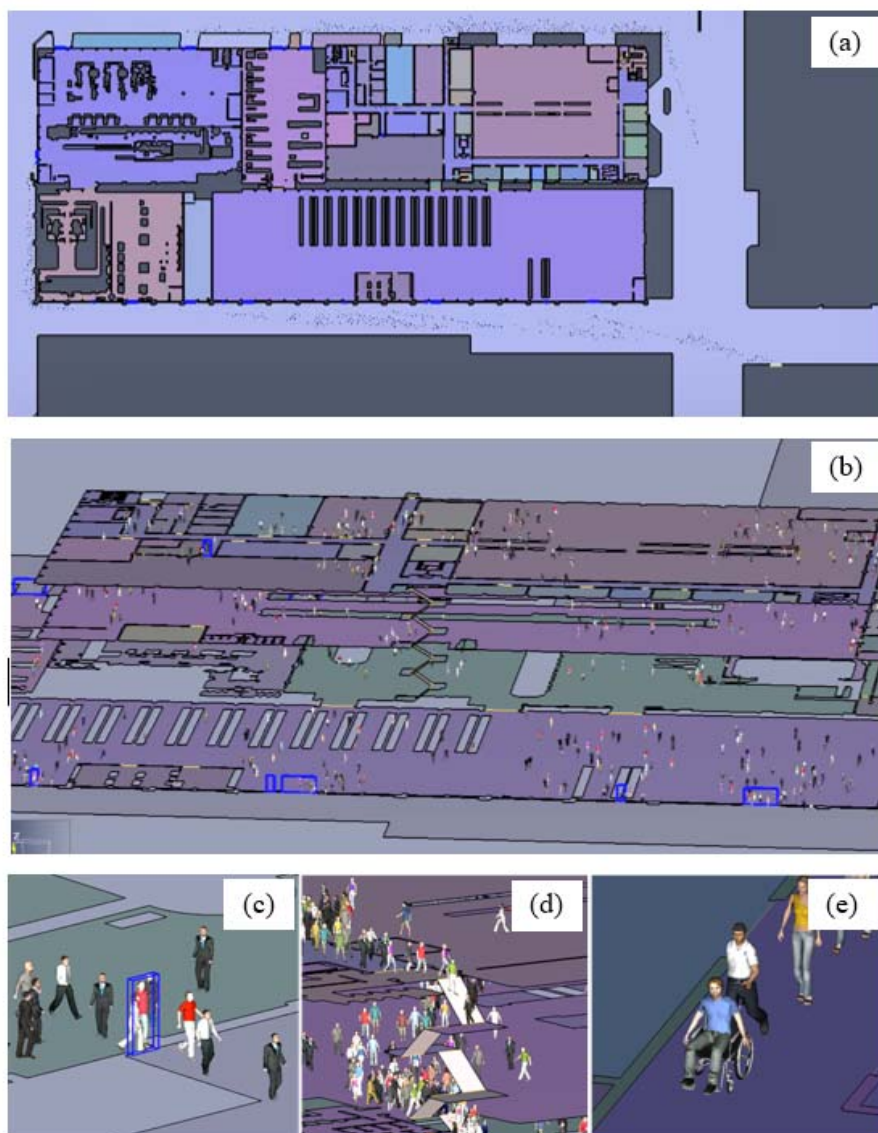
(b)

ภาพที่ 5.5 ค่า Speed Factor ที่คำนวณได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด

5.5.2 การจำลองการอพยพ (Evacuation Simulation Model)

5.5.2.1 การตั้งค่าแบบจำลอง (Evacuation Simulation Setting)

ในขั้นตอนต่อมาเป็นการใช้ผลที่ได้จากแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ของ PyroSim ร่วมกับผลการวิเคราะห์จุดรวมพลที่ได้จากวิธีการทาง MCDM ในการพัฒนาและวิเคราะห์แบบจำลองในการอพยพออกจากตัวอาคารไปยังจุดรวมพลที่ปลอดภัยที่อยู่นอกอาคาร โดยทำการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder ดังแสดงในภาพที่ 5-6 โดยในภาพที่ 5-6 (a) แสดงมุมมองการอพยพระดับ Macro ของการอพยพจากอาคารไปยังจุดรวมพลภายนอกอาคาร ภาพที่ 5-6 (b) แสดงมุมมองการอพยพระดับ Meso และภาพที่ 5-6 (c) แสดงให้เห็นถึงการอพยพ ระดับ Micro และภาพที่ 5.6 (d) และภาพที่ 5.6 (e) แสดงการอพยพลงบันได และการอพยพของผู้พิการ ตามลำดับ



ภาพที่ 5.6 แบบจำลองการอพยพของ Agent

และได้ทำการเก็บข้อมูลดัชนีวัดผลสำหรับแบบจำลองการอพยพ คือ 1) เวลาในการอพยพโดยเฉลี่ยของผู้อพยพทุกคน (Completion time for all occupants) ซึ่งพิจารณาจากเวลาเฉลี่ยที่ Agent แต่ละคนทำการอพยพ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเริ่มต้นของ Agent แต่ละคนเมื่อเทียบกับตำแหน่งของประตูทางออก และ 2) เวลาการอพยพทั้งหมด (Total evacuation time) ซึ่งพิจารณาจากเวลาที่ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคารได้ และ 3) จำนวนผู้อพยพที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงเวลา (Remaining Evacuee) โดยทำการ Run ผลจำนวน 10 Trials ในแต่ละ Scenario ที่ได้ทำการออกแบบการทดลอง และแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละกรณี โดยได้ทำการตั้งค่า Parameters ต่าง ๆ ของแบบจำลองการอพยพ ดังแสดงในตารางที่ 5.11 โดยพิจารณาการตั้งค่าจากปัจจัยทางด้าน Fire Perception, Physical Disability, Width of Escape Door, Fire Location และ Density of Evacuee ที่เกี่ยวข้อง โดยการตั้งค่า Fire Perception ใน Scenario 0 เป็นการตั้งค่า Initial Delay Time ใน

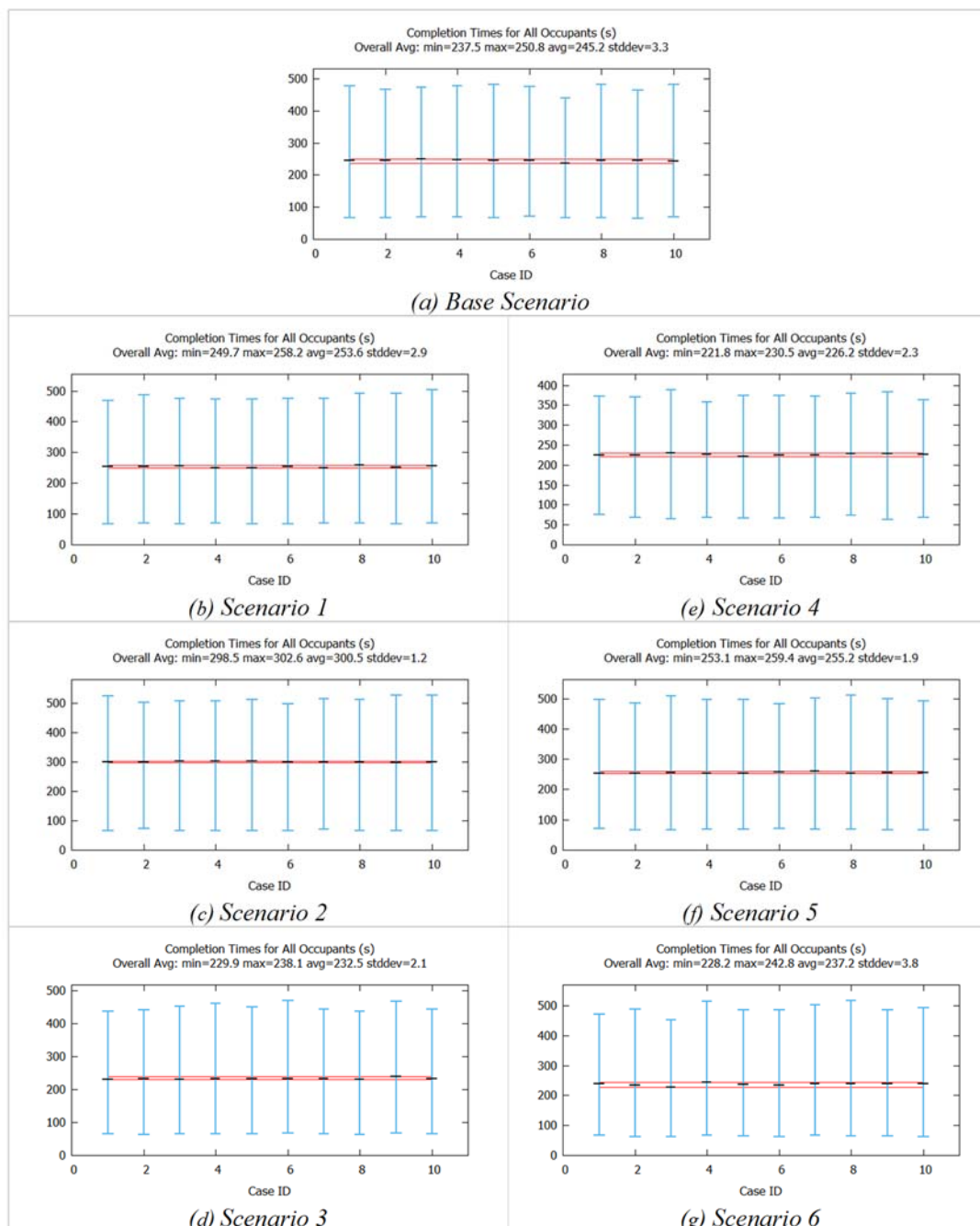
โมเดลการจำลองอพยพเป็น 10 วินาที ส่วน Scenario 1 ตั้งค่า Initial Delay Time เป็น 120 วินาที สำหรับผู้อพยพในโมเดลการจำลอง ให้มีจำนวนเป็นร้อยละ 10 ส่วน Scenario 2 ทำการ ตั้งค่า ผู้อพยพ เป็นคนพิการนั่งรถเข็น (Occupant as Disabled Person With Wheelchair) มีจำนวนเป็นร้อยละ 1 ของจำนวนผู้อพยพในอาคาร ในขณะที่ Scenario 3 ตั้งค่าให้ประตูหนีไฟให้กว้างเป็น 110 เซนติเมตร (จากเดิม 80 เซนติเมตร) นอกจากนี้ Scenarios 4 - 5 ตั้งค่าผู้อพยพให้น้อยลง และมากขึ้นจากเดิม เป็น 700 คน และ 1300 คน ตามลำดับ ส่วน Scenario 6 เป็นการจำลองเพื่อพิจารณาการอพยพ กรณี ที่ตำแหน่งไฟเกิดขึ้น ณ ชั้น 3 ของอาคาร

ตารางที่ 5.11 การตั้งค่า Parameter ในโมเดลการอพยพ

Factors	Level	Model Setting
1) Fire Perception	1) 100% perception	Set initial delay time to 10s (Shi et al., 2009)
	2) 90% perception	Set initial delay time to 120s (Ketsakorn and Meethom, 2016)
2) Physical Disability	1) No disabled person	Set occupant profile as normal people
	2) Yes (1% disabled)	Set occupant as disabled person with wheelchair
3) Width of Escape Door	1) 80 centimeters	Set the width of the escape door to 80 cm
	2) 110 centimeters	Set the width of the escape door to 110 cm
4) Fire Location	1) First floor	Set the fire location at the injection area (1 st floor)
	2) Third floor	Set the fire location at the Server room (3 rd floor)
5) Density of Evacuee	1) Low density	Set the number of occupants to 700 persons
	2) Normal density	Set the number of occupants to 1000 persons
	3) High density	Set the number of occupants to 1300 persons

5.5.2.2 ผลการรัน Completion time for all occupants

ผลการ Run Program โดยทำการเก็บข้อมูลผลลัพธ์เวลาการอพยพของผู้อพยพออกจากอาคาร โดยพิจารณาจากเวลาเฉลี่ยที่ Agent แต่ละคนทำการอพยพ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเริ่มต้นของ Agent แต่ละคน จากการ run 10 Trials สำหรับทั้งสองกรณีการเกิดเพลิงไหม้ แสดงในภาพที่ 5 - 7



ภาพที่ 5.7 เวลาอพยพสำเร็จของผู้อพยพทุกคน (Completion time for all occupants)

โดยแกน x แสดง Trail number และแกน y แสดงค่าเวลาในการอพยพ ซึ่งพบว่าในกรณีของ Based Scenario (Scenario 0) ค่า Completion Time มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 245.2 วินาที และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 3.3 วินาที นอกจากนี้ ในส่วนของ Scenario 1 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 253.6 วินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อคนมี Fire Perception ไม่ดี จะส่งผลให้ Completion Time มากขึ้น ส่วนผลจาก Scenario 2 พบว่าเมื่อมีคนพิการในอาคาร จะส่งผลให้ Completion Time มากขึ้นด้วยเช่นกัน (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 300.5 วินาที) ส่วน Scenario 3 ประตุนิไฟมีขนาดกว้างขึ้นจะทำให้ค่า Completion Time ลดลง (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 232.5 วินาที) นอกจากนี้ Scenario 4-5 แสดงว่าจำนวนคนในอาคารที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อ Completion Time เช่นกัน ส่วน Scenario 6 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งไฟที่ต่างกันส่งผลต่อ Completion time for all occupants โดย Scenario 6 ไฟเกิดที่ชั้น 3 มีเฉลี่ยอยู่ที่ 237.2 วินาที ซึ่งในกรณีนี้ เป็นเพราะจำนวนผู้อพยพที่อยู่ชั้น 3 มีจำนวนไม่มากเมื่อเทียบกับชั้นอื่นที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดไฟ และผู้อพยพในชั้น 1 และ 2 สามารถอพยพได้ในช่วงที่ไม่มีอุปสรรคจากไฟมากระทบ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้ในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลของเวลาการอพยพของทุก Scenario

Scenario	Completion time for all occupants (s)		Total evacuation time (s)	
	Average (s)	Standards Dev.	Average (s)	Standards Dev.
Scenario 0 (Based)	245.2	3.3	471.36	13.70
Scenario 1	253.6	2.9	482.18	11.52
Scenario 2	300.5	1.2	513.78	10.28
Scenario 3	232.5	2.1	447.60	9.51
Scenario 4	226.2	2.3	384.61	19.20
Scenario 5	255.2	1.9	497.58	9.23
Scenario 6	237.2	3.8	489.83	18.88

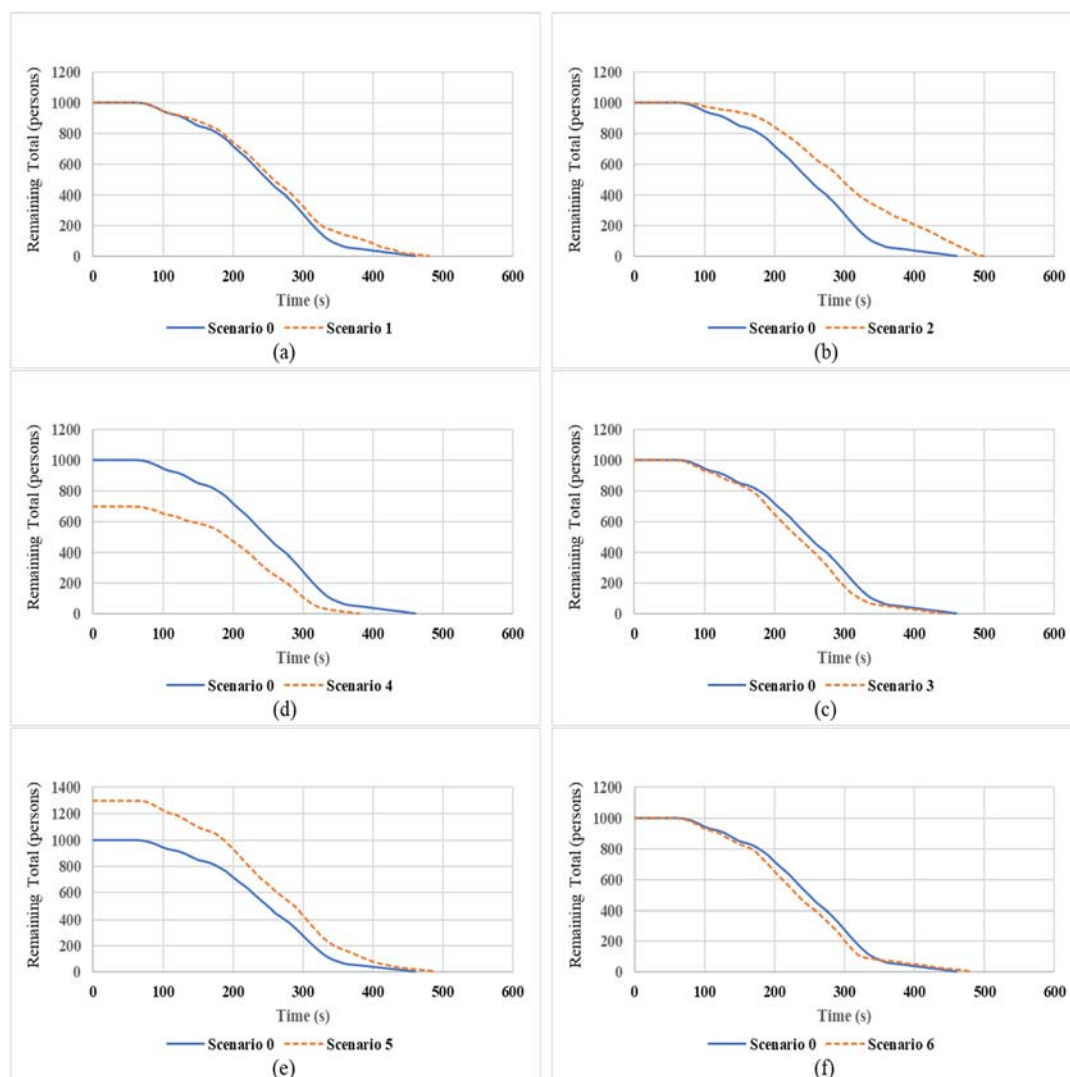
5.5.2.3 ผลเวลาการอพยพทั้งหมด (Total evacuation time)

ผลการวิเคราะห์เวลาอพยพทั้งหมด (Total evacuation time) ซึ่งแสดงเวลาการอพยพที่ผู้อพยพคนสุดท้ายออกนอกอาคารได้ สามารถวิเคราะห์ได้ในลักษณะเดียวกัน สำหรับทุก Scenarios ดังแสดงในตารางที่ 5-13 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลจากปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเทียบกับ Base Scenario โดยผลการวิเคราะห์พบว่าเวลาการอพยพทั้งหมดโดยเฉลี่ยในกรณี Scenario 0 ใช้ระยะเวลาอพยพ 471.36 วินาที และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 13.70 วินาที โดยเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับ Scenarios ต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบการทดลอง พบว่า ผลแนวโน้มค่าเวลา Total evacuation time ที่ได้ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับกรณี Completion time for all occupants ที่ได้ทำการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ ยกเว้นใน Scenario 6 ที่พบว่าค่า Total evacuation time นานกว่า

Base Scenario (scenario 0) โดยใช้ระยะเวลาอพยพ 489.83 วินาที และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 18.88 วินาที ซึ่งอธิบายได้ว่ากรณีไฟเกิดขึ้นที่ชั้น 3 แม้จะมีค่า Completion time for all occupants ที่น้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคารได้ พบว่าผลของการเกิดไฟไหม้ที่ชั้น 3 ส่งผลให้เกิดการชะลอของการอพยพของคนที่อยู่ในชั้นนั้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อ Total evacuation time ที่ทำให้ใช้เวลานานขึ้นมาก ซึ่งมีความอันตรายสูง เนื่องจากยิ่งเวลาในการอพยพนาน ยิ่งส่งผลให้อันตรายที่อาจเกิดขึ้นสูงขึ้นด้วย ตามลำดับ

5.5.2.4 จำนวนผู้อพยพที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงเวลา (Remaining Evacuee)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนผู้อพยพที่เหลืออยู่ (Remaining Evacuee) ในแต่ละช่วงเวลา สำหรับแต่ละ Scenario แสดงในภาพที่ 5 - 8 โดยภาพที่ 5-8 (a) เปรียบเทียบ Remaining evacuee ที่ได้จากการณี Scenario 0 กับ Scenario 1 จะเห็นว่า Scenario 0 มีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 เร็วกว่า Scenario 1 ที่ช่วงวินาทีที่ 250 และผู้อพยพเหลือเป็นศูนย์ที่ช่วงเวลาที่ 460 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพที่มีระดับ Fire Perception ที่ดีกว่าสามารถอพยพออกจากพื้นที่ได้เร็วกว่า ส่วนผลการศึกษา Scenario 0 เปรียบเทียบกับ Scenario ที่ 2 เพื่อศึกษาการอพยพของผู้พิการ พบว่าการอพยพกรณีผู้พิการ พบว่ามีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 ที่ช่วงวินาทีที่ 290 ซึ่งใช้เวลานานกว่า Scenario 0 ส่วนผลการศึกษาเปรียบเทียบกับ Scenario 3 เพื่อศึกษาการอพยพกรณีที่ประตูหนีไฟกว้างเป็น 110 เซนติเมตร พบว่ามีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 ที่ช่วงวินาทีที่ 230 ซึ่งใช้เวลาเร็วกว่า Scenario 0 ผลการศึกษา Scenario ที่ 4 เมื่อกำหนดความหนาแน่นของผู้อพยพที่ 700 คน พบว่ามีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 ที่ช่วงวินาทีที่ 190 ซึ่งใช้เวลาเร็วกว่า Scenario 0 ส่วนผลการศึกษา Scenario เมื่อความหนาแน่นของผู้อพยพเป็น 1300 คน พบว่ามีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 ที่ช่วงวินาทีที่ 230 ซึ่งใช้เวลานานกว่า Scenario 0 ตามที่คาดไว้ นอกจากนี้ ผลจาก Scenario 6 จากการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งไฟที่ต่างกัน พบว่ามีผู้อพยพติดค้างเหลือเป็นร้อยละ 50 ที่ช่วงวินาทีที่ 230 ซึ่งใช้เวลาเร็วกว่า Scenario 0 อย่างไรก็ตาม Scenario ที่ 6 มีผู้อพยพสุดท้ายออกจากพื้นที่ได้ในเวลาที่ 480 วินาที ซึ่งยืนยันผลว่า กรณีไฟเกิดขึ้นที่ชั้น 3 แม้ว่าในช่วงแรก ๆ จะสามารถทำการอพยพได้เร็วจากผู้อพยพในชั้นที่ 1 และ 2 แต่ผู้อพยพกลุ่มสุดท้ายจากชั้นที่ 3 จะใช้เวลาในการออกจากอาคารนานกว่ากรณีไฟเกิดขึ้นที่ชั้น 1 (Base Scenario)



ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบ Remaining total evacuation time ในแต่ละ Fire case

5.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาในส่วนนี้ เป็นการวิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of Variance (ANOVA) สำหรับทั้งพารามิเตอร์ Completion time for all occupants และ Total evacuation time โดยใช้ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.13 โดยผลที่ได้สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนของการ Completion time for all occupants พบว่ากรณีที่มีผู้อพยพจำนวนร้อยละ 10 ที่มี Fire Perception ในระดับต่ำ จะส่งผลให้ระยะเวลาการอพยพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} = 0.00$) การทดสอบปัจจัยด้านผู้พิการในอาคารพบว่า เมื่อมีผู้พิการในอาคารร้อยละ 1 จะทำให้ระยะเวลาการอพยพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} = 0.00$) ขนาดของประตูหนีไฟที่กว้างขึ้นจาก 80 เซนติเมตร เป็น 110 เซนติเมตร จะทำให้ระยะเวลาการอพยพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} = 0.00$) จำนวนของผู้อพยพในอาคาร ที่ลดลง (Low density) และเพิ่มขึ้น (High density) ส่งผลกระทบบัง Completion time for all occupants ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ (p-value = 0.00) และกรณีตำแหน่งของการเกิดไฟที่ ชั้น 1 ของอาคาร ค่า Completion time for all occupants มากกว่ากรณีเกิดไฟที่ชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.00)

นอกจากนี้ ในส่วนของการวิเคราะห์ผลของ Total evacuation time พบว่ากรณีที่มีผู้อพยพร้อยละ 10 ที่มี Fire Perception ในระดับต่ำ จะยังไม่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการอพยพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.066) โดยเมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มจำนวนผู้อพยพที่มีระดับ Fire Perception ในระดับต่ำให้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 พบว่าปัจจัยของ Fire perception ของผู้อพยพ จะเริ่มส่งผลให้ระยะเวลาการอพยพลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.00) การทดสอบปัจจัยด้านผู้พิการในอาคารพบว่า เมื่อมีผู้พิการในอาคารร้อยละ 1 จะทำให้ระยะเวลาการอพยพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.00) ขนาดของประตูหนีไฟที่กว้างขึ้นจาก 80 เซนติเมตร เป็น 110 เซนติเมตร จะทำให้ระยะเวลาการอพยพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.00) จำนวนของผู้อพยพในอาคาร ที่ลดลง (Low Density) และเพิ่มขึ้น (High Density) ส่งผลกระทบบให้ Total evacuation time ลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.00) และกรณีตำแหน่งของการเกิดไฟที่ ชั้น 1 ค่า Total evacuation time น้อยกว่ากรณีเกิดไฟที่ชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.02)

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ สำหรับปัจจัยของการอพยพแต่ละปัจจัย

	Factor	Description	P-value
Completion time for all occupants (s)	Fire perception	10% fair vs 100% good perception	0.000*
	Disabled person	1% disabled vs no disabled	0.000*
	Door width	80 vs 110 centimeters	0.000*
	Number of occupants	700 vs 1,000 evacuees	0.000*
		1,000 vs 1,300 evacuees	0.000*
	Fire location	1 st floor vs 3 rd floor	0.000*
Total evacuation time (s)	Fire perception	10% fair vs 100% good perception	0.066
	Disable person	1% disabled vs no disabled	0.000*
	Door width	80 vs 110 centimeters	0.000*
	Number of occupants	700 vs 1,000 evacuees	0.000*
		1,000 vs 1,300 evacuees	0.000*
	Fire location	1 st floor vs 3 rd floor	0.020*

หมายเหตุ: *p < 0.05

5.7 ผลการวิเคราะห์เชิงนโยบายของการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล

ในส่วนนี้ ได้วิเคราะห์ในส่วนของการอพยพกรณีเกิดไฟ สองจุดที่แตกต่างกัน และมีการอพยพไปยังจุดรวมพลทั้ง 4 จุด ประกอบด้วย จุดรวมพลที่ 1 บริเวณด้านหน้าโรงงานโกดังอาคารผลิต 2 จุดรวมพลที่ 2 บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้ปั๊มน้ำมัน จุดรวมพลที่ 3 บริเวณลานจอดรถรถบัส โกดังอาคารผลิต 4 และจุดรวมพลที่ 4 บริเวณพื้นที่ว่างด้านหลังโรงงานโกดังอาคารคลังสินค้า โดยในการรันทดสอบกรณีนี้ได้ใช้ Scenario เป็นกรณีที่มีจำนวนผู้อพยพที่ Level high คือ 1,300 คน ทุกคนมีระดับ Fire perception ในระดับดี ไม่มีผู้พิการ และความกว้างประตูหนีไฟ กำหนดเป็น 80 เซนติเมตร ทำการรันทดสอบการอพยพในกรณีเกิดไฟที่ชั้น 1 และชั้น 3 ของอาคาร โดยรันทดสอบแยกเป็นกรณีไฟเกิดขึ้นที่ชั้น 1 แล้วมีการอพยพออกไปยังจุดรวมพลแต่ละจุด และกรณีไฟเกิดขึ้นที่ชั้น 3 แล้วมีการอพยพออกไปยังจุดรวมพลแต่ละจุด เช่นเดียวกัน ทำการรันทั้งหมดกรณีละ 10 รอบ (รวมเป็น 80 รอบ) คำนวณค่าเฉลี่ย ของการอพยพไปยังจุดรวมพลแต่ละจุด ได้ผลออกมาดังแสดงในตารางที่ 5.14 และ 5.15

ตารางที่ 5.14 ผลการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล กรณี Fire case 1

ครั้งการรัน	จุดรวมพลที่ 1	จุดรวมพลที่ 2	จุดรวมพลที่ 3	จุดรวมพลที่ 4
1	598.5	496.3	550.6	546.3
2	601.4	485.0	554.2	538.6
3	602.9	509.1	525.5	544.2
4	628.8	497.4	562.6	558.5
5	608.5	498.1	535.3	556.0
6	606.6	483.0	543.4	578.2
7	610.8	502.0	552.2	542.4
8	613.8	512.0	534.4	542.1
9	610.2	500.4	539.6	545.9
10	615.1	492.5	533.7	552.4
ค่าเฉลี่ย	609.66	497.58	543.15	550.46
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.59	9.23	11.50	11.65

ตารางที่ 5.15 ผลการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล กรณี Fire case 2

ครั้งการรัน	จุดรวมพลที่ 1	จุดรวมพลที่ 2	จุดรวมพลที่ 3	จุดรวมพลที่ 4
1	667.2	579.0	654.7	612.8
2	640.6	543.7	652.6	594.2
3	684.7	551.3	606.7	653.7
4	682.2	564.6	580.4	649.3
5	676.5	524.0	590.6	623.8
6	677.1	572.4	616.2	605.1
7	662.9	520.5	599.9	623.1
8	661.8	538.5	600.1	618.8
9	684.2	541.9	600.9	609
10	677.3	509.3	590.7	618.9
ค่าเฉลี่ย	671.45	544.52	609.28	620.87
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.67	22.85	25.31	18.48

เมื่อพิจารณาค่าโอกาสของการเกิดไฟ โดยกำหนดให้โอกาสในการเกิดไฟไหม้ ทั้งสองจุด มีโอกาสเกิดขึ้นเท่ากันที่ร้อยละ 50 แล้วระยะเวลาการอพยพไปยังจุดรวมพลทั้ง 4 จุด ว่าได้ผลเป็นอย่างไร (ตารางที่ 5.16) พบว่าระยะเวลาการอพยพไปยังจุดรวมพลที่ 2 ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด โดยใช้เวลา 521.1 วินาที รองลงมาเป็น จุดรวมพลที่ 3 ใช้เวลา 576.2 วินาที ลำดับที่สาม จุดรวมพลที่ 4 ใช้เวลา 585.7 วินาที และ สุดท้ายจุดรวมพลที่ 4 ใช้เวลา 640.5 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 5.16 ผลรวมของค่าโอกาส ของการอพยพไปยังแต่ละจุดรวมพล

จุดรวมพล	จุดรวมพลที่ 1	จุดรวมพลที่ 2	จุดรวมพลที่ 3	จุดรวมพลที่ 4
ระยะเวลาการอพยพ (วินาที)	640.5	521.1	576.2	585.7

บทที่ 6

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

6.1 สรุปและอภิปรายผลประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

อัคคีภัยที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อชีวิตและทรัพย์สิน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม และชุมชนโดยรอบโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหาด้านการเกิดอัคคีภัยยังนับเป็นภัยปัญหาที่ร้ายแรงที่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ โดยมีสาเหตุที่ทำให้เกิดได้หลากหลายสาเหตุ จากเหตุการณ์ไฟไหม้ต่อหลายต่อหลายครั้งที่ผ่านมา ซึ่งล้วนสร้างความเสียหายทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินอย่างมหาศาล ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการจัดการอัคคีภัยว่า มีความประสิทธิภาพดีและเหมาะสมหรือไม่ โดยมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตกลุ่มต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Development Analysis (DEA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการในหน่วยงานต่าง ๆ ตามการวิเคราะห์ของปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่หลากหลาย

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคคีภัยรายกลุ่มอุตสาหกรรมพบว่า กลุ่มอุตสาหกรรมที่ 1 ซึ่งเป็น อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า และ กลุ่มที่ 4 กิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย ตลอด 3 ปี (2556-2558) มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคคีภัยอย่างต่อเนื่อง ส่วน กิจการกลุ่มที่ 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) มีประสิทธิภาพที่ต่ำอย่างต่อเนื่องในสองปีหลัง ส่วนกลุ่มกิจการ กลุ่มที่ 8 (เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก) พบว่ามีการบริหารจัดการที่ไม่ดีอย่างต่อเนื่องทั้ง 3 ปีอย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ DEA เป็นการวัดประสิทธิภาพการจัดการที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันเท่านั้น ดังนั้นควรมีการพิจารณานำผลการศึกษาไปใช้อย่างเหมาะสม ต่อไป

6.2 สรุปผลการดำเนินการศึกษาการบูรณาการเครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟ และแบบจำลองการอพยพแบบตัวแทน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการวางแผนการอพยพจากการหนีไฟ โดยเริ่มจากการบูรณาการนำเทคนิค IEW และ TOPSIS ซึ่งเป็นเครื่องมือทางด้าน Multi-Criteria Decision Analysis มาใช้วิเคราะห์หาที่ตั้งของจุดรวมพลที่เหมาะสม โดยใช้เป็นข้อมูลป้อนสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการอพยพในการอพยพบุคคลจากในอาคารไปยังจุดรวมพลนอกอาคารที่ปลอดภัย นอกจากนี้ได้มีการบูรณาการการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยการ Integrated โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยจำลองการเกิดไฟ (PyroSim) และนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม PyroSim ป้อนเข้าสู่โปรแกรม Pathfinder เพื่อวิเคราะห์วางแผนการอพยพในช่วงที่เกิดไฟไหม้ขึ้น โดยมีการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ทางด้านคุณลักษณะของ Agent (ผู้อพยพ) ทางด้าน Fire Perception และด้าน Disable Persons ร่วมกับ

คุณลักษณะของอาคารและการเกิดไฟ ทางด้าน Fire Location ขนาดความกว้างประตูหนีไฟ รวมถึงความหนาแน่นของผู้อพยพจากอาคารที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์จากการนำเทคนิค IEW ในการวิเคราะห์ปัจจัย ร่วมกับเครื่องมือ TOPSIS ในการวิเคราะห์จุดรวมพลพบว่า ปัจจัยสองลำดับแรกที่สำคัญที่สุดคือด้านระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมพล และปัจจัยด้านระยะห่างจุดอันตรายกับจุดรวมพล ซึ่งมีค่าน้ำหนักรวมกันที่ 0.65 ซึ่งพบว่าจุดรวมพลที่เหมาะสมที่สุดในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ คือบริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อหมายม ซึ่งได้นำมาใช้เป็นข้อมูลป้อนของแบบจำลองการอพยพต่อไป นอกจากนี้ จากการจำลองการอพยพหนีไฟในโรงงานอุตสาหกรรม ภายใต้สถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้ 2 จุดที่แตกต่างกัน พบว่าตำแหน่งของไฟที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อระยะเวลาการอพยพของแต่ละ Agent รวมถึงเวลารวมที่ผู้ออกนอกอาคารคนสุดท้ายออกจากอาคารได้ โดยพบว่าในกรณีไฟไหม้บริเวณห้อง Sever Room ชั้น 3 ของอาคาร ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้กับประตูเส้นทาง หรือ Corridor ที่ใช้ในการอพยพ จะส่งผลให้ได้รับอิทธิพลจากควันไฟมากตามไปด้วย ซึ่งมีความเสี่ยงอันตรายมากกว่าจุดที่จำลองไฟที่บริเวณชั้นหนึ่ง ซึ่งมีเพดานที่สูงกว่า ทำให้การสะสมของควันไฟช้ากว่าจุดเกิดเหตุที่เป็นพื้นที่เพดานต่ำ ทั้งนี้อิทธิพลของควันไฟในพื้นที่จะมีผลต่อค่า Visibility รวมทั้ง Speed Factor ของผู้อพยพ ทำให้สมรรถนะในการหนีไฟลดลง และทำให้การอพยพช้าลงได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ Agent เปลี่ยนเส้นทางเป็นเส้นทางที่ปลอดภัยจากควันไฟมากกว่า

นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ระยะเวลาการอพยพหนีไฟทั้งจากเวลาที่ผู้อพยพแต่ละคนใช้ในการหนีไฟ และเวลาที่ผู้อพยพคนสุดท้ายออกจากอาคารได้ โดยพิจารณาปัจจัยของขนาดของประตูหนีไฟ พบว่าเมื่อประตูหนีไฟมีขนาดกว้างขึ้นจากเดิมเพียง 30 เซนติเมตร จะส่งผลให้ระยะเวลาการอพยพเร็วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ในส่วนของปัจจัยทางด้านความหนาแน่นของผู้อพยพพบว่า ยิ่งจำนวนผู้อพยพมีจำนวนมากยิ่งส่งผลต่อระยะเวลาการอพยพที่มากขึ้นเช่นกัน ในส่วนของปัจจัยด้าน Fire Perception ของผู้อพยพ พบว่าหากมีผู้อพยพที่มีระดับ Fire Perception ที่ไม่ดีในสัดส่วนจำนวนที่มากขึ้นเป็นประมาณ 20% ของผู้อพยพทั้งหมด จะทำให้ระยะเวลาการอพยพรวมช้าลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ได้ทำการจำลองกรณีที่กลุ่มของผู้อพยพมีผู้พิการอยู่ในอาคารด้วย ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแม้จะมีจำนวนผู้พิการจำนวนไม่มาก คือมีเพียง 1% ก็จะมีผลทำให้ระยะเวลาการอพยพนานมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อจำลองให้โอกาสเกิดไฟทั้งสองจุดมีค่าเท่ากันและให้ผู้อพยพหนีไฟไปยังจุดรวมพลทั้ง 4 จุด พบว่าการอพยพหนีไฟไปยังจุดที่รวมพลที่ 2 ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TOPSIS ซึ่งได้ทางเลือกที่เหมาะสมเป็นจุดรวมพลที่ 2 เช่นเดียวกัน

6.3 บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การวางแผนเพื่อตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉินโดยเฉพาะกับกรณีการเกิดไฟไหม้ มีความเกี่ยวข้องกับหลากหลายปัจจัยที่จำเป็นต้องทำการตัดสินใจในการวางแผนจัดการทั้งในช่วงก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน และในช่วงหลังเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างบูรณาการ ทั้งนี้ พบว่างานวิจัยทางการวางแผนอพยพโดยใช้ Simulation model ส่วนใหญ่ ยังคงมีอยู่จำกัด นอกจากนี้แบบจำลองส่วนใหญ่ที่มีอยู่ ไม่ได้มีการพิจารณาการบูรณาการเครื่องมือทางด้านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์การตัดสินใจร่วมด้วย ซึ่งจะช่วยให้ภาพรวมของการจัดการเหตุฉุกเฉินมีความเชื่อมต่อระหว่างระดับ Micro และ

ระดับ Macro level โดยงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการการวิเคราะห์จุดอพยพที่เหมาะสมภายนอกอาคาร โดยใช้เครื่องมือ IEW ร่วมกับ TOPSIS เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลป้อนให้กับแบบจำลองการอพยพที่ได้พัฒนาขึ้น

ทั้งนี้ เครื่องมือทางด้าน MCDM สำหรับช่วยในการตัดสินใจภายใต้หลายหลักเกณฑ์มีหลากหลาย ซึ่งมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวางแผนการอพยพกรณีการเกิดอัคคีภัย รวมทั้งการเตรียมการเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่หลากหลายและมักขัดแย้งกัน เช่น การเลือกเส้นทางการอพยพ การเลือกช่องทางในการหนีไฟ ตลอดทั้งการพิจารณาเลือกจุดรวมพลที่มีความเหมาะสม เช่น การนำเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis – DEA) มาใช้สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องทางการหนีไฟ หรือนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการอพยพ Evacuation Policy ต่าง ๆ (Russo and Rindone, 2010) การนำเทคนิค AHP มาใช้ในการวิเคราะห์ความคิดเห็นที่เกี่ยวกับมาตรการในการรับมือทางด้านความเสี่ยงจากอัคคีภัยในอาคาร (Zhu and You, 2016) รวมถึงการใช้เทคนิค TOPSIS ในการวิเคราะห์จุดรวมพล เป็นต้น

นอกจากนี้ ในการจำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ รวมถึงเหตุฉุกเฉินจากเพลิงไหม้ ควรมีการพิจารณาร่วมกับแบบจำลองทางด้านการอพยพ เพื่อวิเคราะห์มาตรการต่าง ๆ จากลักษณะของการเกิดไฟไหม้ที่แตกต่างกันซึ่งมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการวางแผนการเตรียมความพร้อมต่อการรับมือเหตุการณ์ไฟไหม้ โดยควรมีการวางแผนเตรียมการล่วงหน้าในลักษณะของการบริหารจัดการความเสี่ยง (Risk Management) ร่วมด้วย ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ ใช้การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้โปรแกรม PyroSim ในการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดไฟไหม้ และความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของอาคาร ซึ่งจะช่วยให้เห็นถึงพัฒนาการของไฟ และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากไฟ เช่นควันไฟที่ส่งผลต่อการมองเห็นของผู้อพยพ ทั้งนี้ ทาง NFPA 101 (National Fire Protection Association, 2017) ได้แนะนำว่ากรณีการจำลองการอพยพที่เกิดจากไฟไหม้ในกรณีต่าง ๆ ควรพิจารณาประเด็นที่ครอบคลุมการเกิดเพลิงไหม้ในตำแหน่งที่ต่างกัน การเกิดเพลิงไหม้ในห้องที่อาจมีคนอยู่ หรือไม่มีคนอยู่ กรณีที่การเกิดเพลิงไหม้ส่งผลอันตรายต่อผู้ใช้อาคารเป็นจำนวนมากในพื้นที่อื่น รวมถึงกรณีการเกิดไฟไหม้ภายนอกอาคาร ที่อาจส่งผลกระทบต่อด้านภายในอาคาร เป็นต้น

นอกจากนี้ ในการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางด้าน การอพยพในงานวิจัยนี้ เป็นการใช้โปรแกรม Pathfinder ในการวางแผนการอพยพ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สถานการณ์และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผู้อพยพที่แตกต่างกัน เช่นความหนาแน่นของจำนวนคนในอาคารภายใต้สถานการณ์และช่วงเวลาต่าง ๆ การรับรู้การเกิดไฟ และข้อบกพร่องทางด้านกายภาพของผู้อพยพ เป็นต้น เพื่อเป็นการนำผลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นในการวางแผนการอพยพ รวมถึงเป็นการวางแผนเพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นจริงได้อย่างเหมาะสมที่สุด ทั้งนี้อาจมีการศึกษาในมุมมองอื่น ๆ ที่อาจจำเป็นสำหรับผู้วางแผนการอพยพในมุมมองที่แตกต่างกัน เช่นกรณีที่ผู้อพยพมีความหลากหลายอย่างชัดเจนในเรื่องอายุและเพศ (Chu and et al., 2019) การจำลองการอพยพกรณีอื่น ๆ นอกจากไฟไหม้ เช่นการก่อการร้าย เหตุขุ่วางระเบิด (Manley and et al., 2015) เหตุแก๊สรั่วไหล (Zheng, Zhong, Liu, 2009) และการกราดยิง (indoor mass shooting) (Cho, Park and Sakhakarmi, 2019) เป็นต้น ทั้งนี้กรณีศึกษาที่แตกต่างกัน เช่น

โรงงาน โรงพยาบาล หรือสนามฟุตบอลเอง ย่อมมีรูปแบบการศึกษาการอพยพที่เฉพาะเจาะจงด้วยเช่นกัน โดยผลการวางแผนการจัดการเหตุฉุกเฉินที่ดี สามารถช่วยในการวางแผนการตัดสินใจทางด้านนโยบาย ในการรองรับสถานการณ์ ในระยะก่อนการเกิดเหตุ ระหว่างการเกิดเหตุ และการตอบสนองหลังเกิดเหตุได้อย่างเหมาะสม

6.4 ข้อเสนอแนะและทิศทางการวิจัยในอนาคต

สำหรับทิศทางการวิจัยในอนาคตสำหรับประเด็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) อาจจะมีการนำไปศึกษาถึงประสิทธิภาพการบริหารจัดการอุบัติเหตุทางด้านอื่น ๆ เช่น เครื่องจักร อันตรายจากไฟฟ้าดูดช็อต หรือการหนีบกด ชน ทับ และอื่น ๆ โดยอาจจะเป็น การศึกษารายกลุ่มอุตสาหกรรม หรืออาจจะศึกษาเป็นภาพรวมการบริหารจัดการทั้งประเทศ ทั้งนี้ สามารถใช้เครื่องมือ DEA ในการวิเคราะห์โดยใช้แบบโมเดล BCC และ Scale Efficiency หรือจะใช้ การบูรณาการเครื่องมือ DEA กับเครื่องมือทางด้าน Multi Criteria Decision Making (MCDM) อื่น ๆ เช่น Analytic Hierarchy Process (AHP) เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลจากการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์และ คำนึงถึงความคิดเห็นของผู้ทำการตัดสินใจได้ด้วย

สำหรับงานวิจัยในอนาคต ด้านการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDM) การผสมผสานกับการใช้แบบจำลองการเกิดไฟ (Fire Dynamic Simulation) และแบบจำลองการ อพยพแบบตัวแทน (Agent-Based Simulation) ควรมีการทดลองโดย ปรับเปลี่ยนปัจจัย ของ Agent Characteristic ในปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความหลากหลายมากขึ้น และอาจจะมีการทดลอง Scenario หรือ Policy การอพยพใหม่ ๆ โดยเฉพาะกับสถานการณ์การเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น การอพยพตามกรณี นโยบาย Physical Distancing ในยุคของ Covid 19 ระบาด เป็นต้น หรือทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัย ด้านต่าง ๆ ของ Building Characteristic รวมทั้งปัจจัย ของ Fire Characteristic ที่จะส่งผลต่อ โมเดลการอพยพ หรืออาจใช้แนวทางการผสมผสาน (Integrate) เครื่องมือการประเมินความเสี่ยงต่าง ๆ เพื่อผสมผสานในการออกแบบ Simulation Modeling Scenario ซึ่งจะเป็นโมเดลการอพยพที่มีการพิจารณาความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอย่างชัดเจน นอกจากนี้ การใช้เทคนิคการผสมผสาน เครื่องมือในการช่วยในการตัดสินใจเพื่อช่วยในการวางแผนและนโยบายการอพยพ โดยใช้เครื่องมือ MCDM อย่างเช่น AHP, DEA, TOPSIS หรืออื่น ๆ เพื่อช่วยในการพัฒนาหรือให้ความเห็นต่อการวางแผน นโยบายในการอพยพ โดยมีการนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการพิจารณาด้วย และ อาจมี การทดลองเพิ่มตำแหน่งการเกิดไฟโดยพิจารณาค่าโอกาส (Probability) ในกรณีที่มีความน่าจะเป็นใน การเกิดไฟที่ไม่เท่ากันด้วย ซึ่งแนวทางเหล่านี้จะเป็นประเด็นในงานวิจัยในอนาคตที่น่าสนใจ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. “สถานการณ์อัคคีภัยของประเทศไทย พ.ศ. 2532-2561”, **สิ่งแวดล้อม-ภัยพิบัติ**. http://social.nesdc.go.th/SocialStat/StatReport_Final.aspx?reportid=3673&template=2R1C&yeartype=M&subcatid=48. 1 กันยายน, 2562.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “ระบบฐานข้อมูลอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2556-2558”, **บริการข้อมูล**. <http://warroom.diw.go.th/safety/>. 1 มีนาคม, 2562.
- กสิณ รังสิกรรพม. **เอกสารประกอบการสอนเรื่อง Multi-Criteria Decision Making**.
อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2560.
- กสิณ รังสิกรรพม และวัฒนา จันทะโคตร. “แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบตัวแทนสำหรับวิเคราะห์การวางแผนอพยพจากเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้ในกรณีศึกษาอาคารเรียน”, **Thai Science and Technology Journal**. 28(10): 1871-1888; ตุลาคม, 2563.
- กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัย. “ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุ พ.ศ. 2550-2560”, **บริการข้อมูล**. <http://oaep.diw.go.th/safety/>. 1 มีนาคม, 2562.
- ขวัญชนก ยศจันทร์. **การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการอพยพเพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถของการอพยพบนอาคารขนาดใหญ่พิเศษ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2557.
- เชมณัฐ เลิศวิญญ์. **การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ และการคำนวณระยะเวลาการอพยพ: กรณีศึกษาอาคารเทียบเครื่องบิน ชั้น 4 สนามบินเอบีซี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556.
- นิรุทธิ์ วัฒนะแสง และคณะ. “ทิศทางการวิจัยสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลในประเทศไทย”, ใน **การประชุมวิชาการ IE Network 2018**. น. 293-299. อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2561.
- นิศากร สมสุข. “การประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานของซัพพลายเออร์ด้วยเทคนิค DEA กรณีศึกษาบริษัทโคนม”, **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**. 25(3): 47-54; กรกฎาคม – กันยายน, 2557.
- บุปพวรรณ พัวพันธ์ประเสริฐ. “ประสิทธิภาพโรงพยาบาลจิตเวช ด้วยวิธี DEA”, **วารสารสุขภาพจิตแห่งประเทศไทย**. 18(3): 149-161; กันยายน, 2553.
- ประสพชัย พสุนนท์. “วิธีคัดเลือกตัวแปรสำหรับการประสิทธิภาพองค์กรด้วยวิธีการ DEA”, **วารสารบริหารธุรกิจ**. 31(118): 27-37; เมษายน-มิถุนายน, 2551.
- ราชกิจจานุเบกษา. **พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2562**. เล่ม 136 ตอน 56 ก. หน้า 213-226. 30 เมษายน, 2562.
- . **กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555**. เล่ม 130 ตอน 2 ก. หน้า 24-34. 9 มกราคม, 2556.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ราชกิจจานุเบกษา. **พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511**. เล่ม 133 ตอนพิเศษ 291ง. 14 ธันวาคม, 2559.
- วัฒนา จันทะโคตร และคณะ. “วาระการวิจัยการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในประเทศไทย”, ใน **การประชุมวิชาการ IE Network 2018**. น.1136–1141. อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2561.
- สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัย. “เอกสารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย การอพยพหนีไฟ”, **การอพยพหนีไฟ Fire Evacuation**. <https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/poster/item/411-fire-evacuation>. 10 กุมภาพันธ์, 2563.
- สมบุญ สารทอง. **การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ กรณีศึกษา อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558.
- สวรินทร์ ประดิษฐ์อุกฤษฏ์ และคณะ. “การประเมินประสิทธิภาพของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลาโดยใช้วิธี DEA”, **วารสารวิจัย มข.** 18(5): 793-802; กันยายน-ตุลาคม, 2556.
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. “คู่มือการปฏิบัติงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552”, **คู่มือการปฏิบัติงาน**. http://www.diw.go.th/hawk/news/Fire_2552.pdf. 2 มีนาคม, 2562.
- สุทัศน์ ประเสริฐพานิช. **การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารสูงด้วยแบบจำลอง Pathfinder: กรณีศึกษา อาคาร Q.House ลุมพินี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.
- Abidin, M. Z., Rusli, R. and Shariff, A. M. “Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)-entropy methodology for inherent safety design decision making tool”, **Procedia engineering**. 148(1): 1043-1050; December, 2016.
- Ahn, C. and et al. “An analysis of evacuation under fire situation in complex shopping center using evacuation simulation modeling”, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. 218(9): 24–34; May, 2016.
- Allianz Global Corporate & Speciality. (2018). “Global Claims Review-The top causes of corporate insurance losses”, **Download**. <https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS-Global-Claims-Review-2018.pdf>. 9 March, 2019.
- Behzadian, M. and et al. “A state-of the-art survey of TOPSIS applications”, **Expert Systems with applications**. 39(17): 13051-13069; December, 2012.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Cai, Y. and et al. “Study on law of personnel evacuation in deep buried metro station based on the characteristics of fire smoke spreading”, **Procedia Engineering**. 135(1): 544–550; December, 2016.
- Caliendo, C. and et al. “Simulation of People Evacuation in the Event of a Road Tunnel Fire”, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. 53(1): 178–188; December, 2012.
- Cassol, V. J. and et al. “Evaluating and optimizing evacuation plans for crowd egress”, **IEEE computer graphics and applications**. 37(4): 60-71; August, 2017.
- CFPA-E. Guideline. (2009). “Fire safety engineering concerning evacuation from building CFPA-E Guideline No.19:2009 F”, **Download**. https://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf. 10 May, 2019
- Chen, Y. and et al. “Emergency evacuation simulation at starting connection of cross-sea bridge: Case study on Haicang Avenue Subway Station in Xiamen Rail Transit Line”, **Journal of Building Engineering**. 29(6): 101-163; May, 2020.
- Cho, C., Park, J. and Sakhakarmi, S. “Emergency response: effect of human detection resolution on risks during indoor mass shooting events”, **Safety science**. 114(1): 160-170; April, 2019.
- Chu, H. and et al. “Emergency evacuation simulation and management optimization in urban residential communities”, **Sustainability**. 11(3): 795; February, 2019.
- De-Ching, H. and et al. “A study for the evacuation of hospital on fire during construction”, **Procedia Engineering**. 11(1): 139-146; January, 2011.
- Deckers, X. and et al. “Smoke control in case of fire in a large car park: CFD simulations of full-scale configurations”, **Fire Safety Journal**. 57(1): 22-34; April, 2013.
- Ding, L. and Zeng, Y. “Evaluation of Chinese higher education by TOPSIS and IEW—The case of 68 universities belonging to the Ministry of Education in China”, **China Economic Review**. 36(C): 341-358; December, 2015.
- Ding, Y. and et al. “Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation”, **Simulation Modelling Practice and Theory**. 53(1): 60-73; April, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- El-Santawy, M. F. “PERSONNEL TRAINING SELECTION PROBLEM BASED ON MODIFIED TOPSIS”, **Computing & Information Systems**. 16(1): 92-97; December, 2012.
- Feng, L. and Miller-Hooks, E. “A network optimization-based approach for crowd management in large public gatherings”, **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. 42(1): 182-199; May, 2014.
- Fire Action. (2016). “Fire Evacuation Procedures”, **Choosing an Assembly Point**. <https://www.fireaction.co.uk/news/fire-evacuation-procedures-part-1-choosing-assembly-point/>. 10 February, 2020.
- Fridolf, K. and et al. “Walking speed in smoke: Representation in life safety verification”, In **12th International Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods Conference**. p. 1-6. Oahu, Hawaii: Society of Fire Protection Engineers (SFPE), 2018.
- Geng, Y. and et al. “Analysis and prediction of the coupling coordination relationship between tourism and Air environment: Yangtze river economic zone in China as example”, **Discrete Dynamics in Nature and Society**. 2020(10): 1-15; January, 2020.
- Grit, N. “Applying Data Envelopment Analysis to Safety Performance Evaluation Construction Projects”, **Research and Development Journal**. 26(2): 31-38; April-June, 2015.
- Guanquan, C., Jinhui, W. and Qingsong, W. “Time-dependent fire risk assessment for occupant evacuation in public assembly buildings”, **Structural Safety**. 38(1): 22-31; September, 2012.
- Haghani, M. and Sarvi, M. “Rationality in Collective Escape Behaviour: Identifying Reference Points of Measurement at Micro and Macro Levels”, **Journal of advanced transportation**. 2019(1):1-20; August, 2019.
- Hong, L., Gao, J. and Zhu, W. “Self-evacuation modelling and simulation of passengers in metro stations”, **Safety science**. 110(B): 127-133; December, 2018.
- Huang, J. “Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection”, In **2008 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems**. p.1281-1284. Mathematics: IEEE, 2008.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Huang, Y., Chen, X. and Zhang, C. “Numerical simulation of the variation of obscuration ratio at the fire early phase with various soot yield rate”, **Case Studies in Thermal Engineering**. 18(1): 100572; April, 2020.
- International Association of Fire and Rescue Services: CTIF. (2018). “**World Fire Statistics**”. <https://www.ctif.org/world-fire-statistics>. 9 March, 2019.
- Joo, J. and et al. “Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation”, **Simulation Modelling Practice and Theory**. 32(1): 99-115; March, 2013.
- Jumadi, C. S. and Quincey, D. “A conceptual framework of volcanic evacuation simulation of Merapi using agent-based model and GIS”, **Procedia-Social and Behavioral Sciences**. 227(14): 402-409; July, 2016.
- Kasereka, S. and et al. “Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire”, **Procedia Computer Science**. 130(1): 10-17; January, 2018.
- Kelly, R. R. and et al. “Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation”, **Safety Science**. 113(2019): 276–284; March, 2019.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A. **Simulation with Arena**. 2nd ed. New York: McGrawHill, 2002.
- Kerry fire and rescue service. (2013). “Guidance Document–Fire Assembly Points”, **Web service**. <http://www.kerryfireandrescue.ie/>. 10 February, 2020.
- Li, M. X. and et al. “Research on fire safety evacuation in a university library in Nanjing”, **Procedia engineering**. 211(1): 372-378; January, 2018.
- Lin, J., Cao, L. and Li, N. “Assessing the influence of repeated exposures and mental stress on human wayfinding performance in indoor environments using virtual reality technology”, **Advanced Engineering Informatics**. 39(1): 53-61; January, 2019.
- Liu, H. and et al. “A path planning approach for crowd evacuation in buildings based on improved artificial bee colony algorithm”, **Applied Soft Computing**. 68(1): 360-376; July, 2018.
- Liu, R., Jiang, D. and Shi, L. “Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios”, **Frontiers of Architectural Research**. 5(1): 111-125; March, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Lu, K. H. and et al. “Numerical simulation of the ventilation effect on fire characteristics and detections in an aircraft cargo compartment”, **Applied Thermal Engineering**. 124(1): 1441-1446; September, 2017.
- Manley, M. and et al. “Airport emergency evacuation planning: An agent-based simulation study of dirty bomb scenarios”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**. 46(10): 1390-1403; October, 2015.
- Maria, A. “Introduction to Modeling and Simulation”, In **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference**. p. 7-14. Atlanta, GA, USA: ACM Digital Library, 1997.
- Marzouk, M. and Al Daour, I. “Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation”, **Safety science**. 109(1): 174-185; November, 2018.
- Marzouk, M. and Mohamed, B. “Integrated agent-based simulation and multi-criteria decision making approach for buildings evacuation evaluation”, **Safety Science**. 112(1): 57–65; February, 2019.
- McGrattan, K. and et al. “Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1: mathematical model”, **NIST special publication**. 1018(1): 175; November, 2013.
- McLoughlin, D. “A framework for integrated emergency management”, **Public administration review**. 45(Special): 165-172; January, 1985.
- National Fire Protection Association. **Life safety code**. Quincy, Massachusetts: NFPA, 2017.
- . **NFPA 92B-2000, guide for smoke management systems in malls, atria, and large areas**. Quincy, Massachusetts: NFPA, 2000.
- Nguyen, M. H. “Integration of Smoke Effect and Blind Evacuation Strategy (SEBES) within fire evacuation simulation”, **Simulation Modelling Practice and Theory**. 36(1): 44–59; August, 2013.
- Ponatang, P. B. and et al. “Integrative Borda-count rating with data envelopment analysis - based efficiency study for oil palm cooperatives”, In **International Conference on Research Advancements in Engineering Management and Information Technology (EMIT)**. p. 14. Kuala Lumpur, Malaysia: Society of Computer, Engineering Technology & Applied Sciences, 2018.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Poulos, A. and et al. “Validation of an agent-based building evacuation model with a school drill”, **Transportation Research Part C**. 97(1): 82–95; December, 2018.
- Ransikarbum, K. and et al. “A highway-driving system design viewpoint using an agent-based modeling of an affordance-based finite state automata”, **IEEE Access**. 6(1): 2193-2205; December, 2017.
- Ransikarbum, K. and Mason, S. J. “Multiple-objective analysis of integrated relief supply and network restoration in humanitarian logistics operations”, **International Journal of Production Research**. 54(1): 49-68; November, 2016a.
- . “Goal programming-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration”, **International Journal of Production Economics**. 182(C): 324-341; December, 2016b.
- Rozo, K. R. and et al. “Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation”, **Safety Science**. 113(1): 276-284; March, 2019.
- Russo, F. and Rindone, C. “Data Envelopment Analysis (DEA) for evacuation planning emergency”, **WIT Transactions on Ecology and The Environment**. 155(2): 455-467; February, 2010.
- . “Data envelopment analysis for planning emergency”, **The Sustainable City**. 3(2): 2091-1101; February, 2012.
- Selain, K. and et al. “Agent-Based Modeling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire”, **Procedia Computer Science**. 130(1): 10–17; January, 2018.
- Shao, Z. G. and Yang, Y. Y. “Effective strategies of collective evacuation from an enclosed space”, **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**. 427(1): 34-39; June, 2015.
- Shen, J. Q., Wang, X. W. and Jiang, L. L. “The influence of panic on the efficiency of escape”, **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**. 491(1): 613-618; February, 2018.
- Shin, Y., Kim, S. and Moon, I. “Simultaneous evacuation and entrance planning in complex building based on dynamic network flows”, **Applied Mathematical Modelling**. 73(1): 545-562; September, 2019.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Suard, S. and et al. “Numerical simulations of fire-induced doorway flows in a small scale enclosure”, **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 81(1): 578-590; February, 2015.
- Tan, L., Hu, M. and Lin, H. “Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency”, **Information Sciences**. 295(1): 53-66; February; 2015.
- Taneja, L. and Bolia, N. B. “Pedestrian control measures for efficient emergency response management in mass gatherings”, **International journal of disaster resilience in the built environment**. 9(3): 273-290; June, 2018.
- Tang, F. and Ren, A. “GIS-based 3D evacuation simulation for indoor fire”, **Building and Environment**. 49(1): 193-202; March, 2012.
- Thunderhead engineering. (2018). “Pathfinder Technical Reference 2018”, **Download**. https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2011/07/tech_ref-3.pdf. 9 March, 2019a.
- . (2018). “Pathfinder User Manual 2018”, **Download**. https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2011/07/users_guide-5.pdf. 3 March, 2019b.
- Tsang, H. L., Fong, N. K. and Chow, W. K. “A simulation study on fire safety aspects of rock cavern accommodating high occupant load”, **Tunnelling and Underground Space Technology**. 103(91): 103430; September, 2020.
- Verbas, İ. Ö. and et al. “Integrated optimization and simulation framework for a large-scale crowd management application”, **Transportation Research Record**. 2560(1): 57-66; January, 2016.
- Wagner, N. and Agrawal, V. “An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster”, **Expert Systems with Applications**. 41(6): 2807–2815; May, 2014.
- Wang, P. and Cao, S. “Simulation of pedestrian evacuation strategies under limited visibility”, **Physics Letters A**. 383(9): 825–832; February, 2019.
- Wang, Z. and et al. “A forensic analysis of a fatal fire in an indoor shooting range using coupled fire and evacuation modelling tools”, **Fire Safety Journal**. 91(1): 892–900; January, 2017.
- . “Simulation on smoke re-circulation transition in an urban street canyon for different fire source locations with cross wind”, **Safety science**. 127(1): 104716; July, 2020.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Wu, G. Y. and Mizuno, M. “The numerical analysis of mass evacuation in Taipei 101 with control volume model”, **Simulation Modelling Practice and Theory**. 96(1): 101937; November, 2019.
- Yang, P., Li, C. and Chen, D. “Fire emergency evacuation simulation based on integrated fire–evacuation model with discrete design method”, **Advances in engineering software**. 65(1): 101-111; November, 2013.
- Yoon, K. P. and Hwang, C. L. **Multiple attribute decision making: an introduction**. Washington D.C.: Sage Publications, Inc., 1995.
- Zeng, F. and et al. “Comprehensive Evaluation of Sustainable Development of Real Estate Industry Based on Information Entropy Weight Method”, **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 310(2): 022066; August, 2019.
- Zhang, H. and et al. “The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy–A case in the Yangtze River Delta of China”, **Tourism Management**. 32(2): 443-451; April, 2011.
- Zhang, L. and et al. “Discovering worst fire scenarios in subway stations: A simulation approach”, **Automation in Construction**. 99(1): 183-196; March, 2019.
- Zhao, G., Beji, T. and Merci, B. “Study of FDS simulations of buoyant fire-induced smoke movement in a high-rise building stairwell”, **Fire Safety Journal**. 91(1): 276-283; January, 2017.
- Zheng, X., Zhong, T. and Liu, M. “Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches”, **Building and Environment**. 44(3): 437-445; March, 2009.
- Zhu, W. and You, Q. “High-rise building group regional fire risk assessment model based on AHP”, **Journal of Risk Analysis and Crisis Response**. 6(1): 31-37; April, 2016.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยในประเทศไทย
ด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล



การศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์ แบบล้อมกรอบข้อมูล

Data Envelopment Analysis-Based Efficiency Study for Fire Safety Management in Thailand

วัฒนา จันทะโคตร (Wattana Chanthakhot)* ดร.กสิณ รังสิกรรพุม (Dr.Kasin Ransikarbun)^{1**}

(Received: May 4, 2019; Revised: August 19, 2019; Accepted: August 21, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยใน 9 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าจำนวนสองปัจจัย คือเงินทุนและจำนวนคนงาน และปัจจัยนำออกจำนวนสามปัจจัย คือจำนวนพนักงานที่ผ่านการอบรมดับเพลิง ค่าเสียหายจากเพลิงไหม้ และจำนวนผู้บาดเจ็บ/เสียชีวิต เพื่อนำมาประเมินค่าประสิทธิภาพ สำหรับช่วงเวลา 3 ปีต่อเนื่องจากปี 2556 - 2558 ที่มีการรายงานข้อมูลล่าสุดที่ได้จากฐานข้อมูลการรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุที่มีอยู่ในระบบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ 1) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า และ 4) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคคีภัยที่ดีอย่างต่อเนื่องทั้ง 3 ปี และมี 3 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังขาดประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัย ซึ่งต้องได้รับการปรับปรุงต่อไป

ABSTRACT

This research aims to analyze an efficiency of fire safety management in 9 industrial groups in Thailand by using Data Envelopment Analysis (DEA) technique. Initially, we collect and analyze input data for two criteria (i.e., capital investment and employee numbers) and output data for three criteria (i.e., number of trained staffs in fire training, damage cost, and number of injured/killed) following three consecutive years from 2013 – 2015, which are reported in the accident investigation report from the Department of Industrial Works. Our analyses show that industrial group 1) Textile industry and fibers from bleaching, and group 4) Chemicals business group, petrochemical, and hazardous substance are operating with good efficiency in fire management during the past 3 consecutive years; whereas 3 industrial groups are found lacking of proper efficiency, in which future improvements are required.

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ การจัดการอัคคีภัย การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล

Keywords: Efficiency, Fire safety management, Data envelopment analysis

¹ Corresponding author: kasinphd@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**อาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



บทนำ

อัคคีภัยเป็นภัยที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สินและระบบเศรษฐกิจโดยรวมอย่างมหาศาล ในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยเอง ทั้งนี้ตั้งแต่ปี 2532-2558 มีรายงานว่าประเทศไทยมีอัคคีภัยเกิดขึ้นมากกว่า 52,000 ครั้ง มีผู้บาดเจ็บ 4,532 คน มีผู้เสียชีวิต 1,740 คน และมีความเสียหายเกิดขึ้นคิดเป็นมูลค่ามากกว่า 31,000 ล้านบาท [1] ตัวอย่างของปัญหาอัคคีภัยและเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งสำคัญในประเทศไทย เช่นเหตุการณ์ไฟไหม้โรงงานผลิตตู้คอนเตเนอร์ จังหวัดนครปฐมเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2536 ทำให้มีผู้เสียชีวิต 188 ราย มีทรัพย์สินเสียหายคืออาคารที่พังทลายลงทั้งหมด เมื่อวันที่ 31 ธันวาคม 2551 เกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ซานดิเก้าผับที่กรุงเทพมหานคร โดยมีผู้เสียชีวิต 66 ราย และมีผู้บาดเจ็บอีกนับร้อยราย และล่าสุด เมื่อวันที่ 10 เมษายน 2562 ได้เกิดเหตุไฟไหม้ที่ห้างเซ็นทรัลเวิลด์ มีผู้เสียชีวิต 3 ราย บาดเจ็บกว่า 10 ราย เป็นต้น ในต่างประเทศเองก็มีการรายงานการเกิดอัคคีภัยจำนวนมาก เช่นเหตุการณ์ไฟไหม้ศูนย์การค้าในเมืองลิมา ประเทศเปรู ในเดือนธันวาคมปี 2001 มีผู้เสียชีวิต 291 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ในเมือง Dhaka ประเทศบังกลาเทศ ในเดือนมิถุนายน ปี 2010 ทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 117 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ตึกสูงในเกรฟเอนีย์ สหรัฐอเมริกา ในเดือนมิถุนายน ปี 2016 มีผู้เสียชีวิต 36 ราย และในเดือนมิถุนายน ปี 2017 เกิดเหตุไฟไหม้ตึกสูงในลอนดอน ประเทศอังกฤษ ทำให้มีผู้เสียชีวิต 17 ราย เป็นต้น [2]

ทั้งนี้จากรายงานสถิติการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2560 [3] พบว่าอัคคีภัยนับเป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นด้วยความถี่จำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุบัติเหตุด้านอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 ดังนั้น เป็นที่ชัดเจนว่าการตระหนักถึงการบริหารจัดการอัคคีภัยเป็นหัวข้อที่สำคัญต่อทุกภาคส่วน โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีสาเหตุที่ทำให้เกิดอัคคีภัยได้หลากหลาย โดยสาเหตุการเกิดเพลิงไหม้ที่พบมากที่สุดคือการชำรุดบกพร่องของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร เกิดจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของพนักงาน เกิดจากจากความประมาทขาดการดูแลรักษา การขาดการสำรวจตรวจตราพื้นที่การทำงาน และเกิดจากกระบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนและประกายไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสถานประกอบการที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยสูง เช่นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีวัตถุดิบที่มีโอกาสเป็นเชื้อเพลิงได้ [4]

เห็นได้ว่าเหตุการณ์ไฟไหม้และความรุนแรงต่างๆ ที่ผ่านมามีสร้างความเสียหายทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินอย่างมาก โดยเฉพาะกับภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดการอัคคีภัย โดยเน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบริหารจัดการด้านอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทย จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Development Analysis (DEA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความนิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการในหน่วยงานต่าง ๆ ตามการวิเคราะห์ของปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่หลากหลายทั้งในไทย [5-10] และต่างประเทศ [11-18] ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยในประเทศไทยที่มีการใช้เทคนิค DEA ยังมีอยู่อย่างจำกัด [19] โดยเฉพาะการใช้ DEA สำหรับกรณีศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดการอัคคีภัยในภาคอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทย ซึ่งผู้ทำวิจัยยังไม่พบการศึกษาศึกษาจากการทบทวนวรรณกรรม ทั้งนี้ผลจากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานด้านการพัฒนาประสิทธิภาพของการบริหารจัดการอัคคีภัยในกลุ่มอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา โดยนำไปสู่การพัฒนาแนวนโยบายหรือใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเพื่อพัฒนาและเสริมสร้างงานความปลอดภัยด้านอัคคีภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กัถยของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่หลากหลายและแตกต่างกันของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาแนวโน้มการบริหารจัดการด้านอค์กัถยในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ. 2556 ถึงพ.ศ.2558
3. เพื่อศึกษาปัจจัยหลากหลายที่มีผลต่อรูปแบบการบริหารจัดการอค์กัถยของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

วิธีการศึกษา

1) ขอบเขตของข้อมูล

การศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กัถยในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตในงานวิจัยนี้ ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งได้จากฐานข้อมูลอุบัติเหตุของกรมโรงงานอุตสาหกรรม [20] ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 โดยแยกเป็น 9 กลุ่มประเภทอุตสาหกรรม ดังนี้

- กลุ่ม 1) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า
- กลุ่ม 2) กลุ่มประกอบกิจการเกี่ยวกับการแปรรูปไม้
- กลุ่ม 3) กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับพลาสติก โฟม กระดาษ ยาง
- กลุ่ม 4) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย
- กลุ่ม 5) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ ไรโซเคลนํ้ามัน ไขมัน สกัณํ้ามันจากพืช
- กลุ่ม 6) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม
- กลุ่ม 7) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร
- กลุ่ม 8) กลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก และ
- กลุ่ม 9) กลุ่มกิจการอื่นๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ จากการศึกษาด้านปัจจัยนำเข้า (Input criteria) และปัจจัยนำออก (Output criteria) ด้วยการเก็บข้อมูลที่มีอยู่จากการทบทวนงานวิจัย กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้ปัจจัยนำเข้า ประกอบด้วย 1) เงินทุนของกลุ่มอุตสาหกรรมที่นำมาพิจารณา (หน่วยเป็นพันล้านบาท) และ 2) จำนวนพนักงานทั้งหมดในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม [20] ในส่วนของข้อมูลปัจจัยนำออก ได้พิจารณาใช้ 1) จำนวนพนักงานที่ผ่านการอบรมดับเพลิงขั้นต้น ซึ่งกำหนดที่ร้อยละสี่สิบของจำนวนพนักงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ภายใต้ข้อกำหนดที่ว่าโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีพนักงานที่ผ่านการอบรมดับเพลิงขั้นต้นไม่น้อยกว่าร้อยละสี่สิบ [21] 2) มูลค่าความเสียหายจากการเกิดอค์กัถยในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม (หน่วยเป็นพันล้านบาท) และ 3) จำนวนผู้บาดเจ็บและเสียชีวิต (คน) ซึ่งแหล่งข้อมูลมาจากระบบฐานข้อมูลอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม [20] เช่นเดียวกัน โดยแสดงข้อมูลทั้งหมดดังในตารางที่ 1



2) เครื่องมือและวิธีการวิจัย

ในการประเมินประสิทธิภาพของการจัดการด้านอค์กัยในการศึกษานี้ ใช้การประยุกต์ใช้เครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) ที่เรียกว่าเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis : DEA) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ (Relative efficiency) และทำการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมการหาคำตอบที่ดีที่สุดเชิงเส้นตรงสำเร็จรูปเรียกว่า LINDO [22] ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งสามารถอธิบายวิธีการ DEA ได้ดังนี้

2.1) วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA)

DEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของหน่วยทางเลือกต่างๆ (เรียกว่า Decision Making Unit – DMU) ที่สนใจ เช่นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการดำเนินงานของหน่วยงาน ประสิทธิภาพการลงทุน เป็นต้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยพิจารณาปัจจัยนำเข้าหรือการผลิต (Input criteria) และปัจจัยผลผลิต (Output criteria) ของปัญหาที่ศึกษา โดยพิจารณาหลักการหาประสิทธิภาพจากสมการ (1) [23] ซึ่งตีความได้ว่า ประสิทธิภาพที่สูงเกิดจากการที่หน่วยทางเลือกใดๆ มีการใช้ปัจจัยนำเข้าน้อยกว่าเมื่อผลิตปัจจัยผลผลิตได้เท่าๆ กัน หรืออีกทางหนึ่งคือการใช้ปัจจัยนำเข้าเท่ากันแต่สามารถผลิตปัจจัยผลผลิตได้มากกว่า

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \quad (1)$$

โดยเทคนิค DEA ที่ได้รับความนิยมในวงการวิจัยมีสองตัวแบบหลักๆ ซึ่งเรียกตามชื่อผู้พัฒนาคือ Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) [24] และ Banker, Charnes and Cooper (BCC) [25] ซึ่งการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ DEA ตัวแบบ CCR จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพเชิงขนาด (Scale efficiency – SE) โดยใช้ DEA ตัวแบบ BCC เพิ่มเติม ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

2.2) DEA ตามแบบจำลอง CCR

แบบจำลอง CCR ของ DEA เป็นแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานที่ว่าผลตอบแทนต่อขนาดของหน่วย DMU ที่พิจารณามีค่าคงที่ (Constant Return to Scale - CRS) โดยเหมาะสมเมื่อ DMU ที่พิจารณาทุก DMU มีขนาดการผลิตที่เหมาะสม นั่นคือต้นทุนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด โดยผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าหน่วยงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับ DMU อื่นๆ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าหน่วยงานแห่งนั้นไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับ DMU อื่นๆ โดยสามารถแสดง DEA แบบจำลอง CCR ในฟังก์ชันเป้าหมายที่ (2) และสมการข้อจำกัด (3)-(5) ทั้งนี้เนื่องจากตัวแบบตามสมการที่ (2) - (5) ไม่ได้อยู่ในรูปกำหนดการเชิงเส้น ทำให้การหาคำตอบไม่สามารถตรวจสอบได้โดยตรง (Intractable) อย่างไรก็ตาม ได้มีการแนะนำการแปลงตัวแบบข้างต้นให้อยู่ในรูปกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) เพื่อทำการวิเคราะห์คำตอบโดยใช้โปรแกรมการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) มาตรฐานได้ โดยกำหนดให้ $\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1$ ซึ่งเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายที่ (2) เป็น (6) และปรับสมการข้อจำกัดได้ดังแสดงในสมการที่ (7)-(10)



เซต (Set)

- I คือ เซตปัจจัยการผลิต i
 J คือ เซตปัจจัยผลผลิต j
 K คือ เซตทางเลือกหรือ $DMUs$

พารามิเตอร์ (Parameter)

- $x_{i,k}$ คือ ปริมาณของปัจจัยการผลิต i ของทางเลือก k
 $y_{j,k}$ คือ ปริมาณของปัจจัยผลผลิต j ของทางเลือก k

ตัวแปร (Decision Variable)

- U_i คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยการผลิต i
 V_j คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยผลผลิต j

แบบจำลอง CCR ของ DEA

$$\text{Maximize Efficiency} \quad \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i} \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k} U_i} \leq 1 \quad ; \forall k \in K \quad (3)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (4)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (5)$$

แบบจำลอง CCR ของ DEA ในรูปกำหนดการเชิงเส้น

$$\text{Maximize Efficiency} \quad \sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j \quad (6)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j - \sum_{i \in I} x_{i,k} U_i \leq 0 \quad ; \forall k \in K \quad (8)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (9)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (10)$$



2.3) DEA ตามแบบจำลอง BCC

ในขณะเดียวกัน BCC model เป็นแบบจำลองภายใต้สมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (Variable Return to Scale - VRS) โดยแบบจำลองนี้สามารถใช้ได้กับ DMUs ที่มีขนาดการผลิตที่ไม่เหมาะสม นั่นคือต้นทุนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของหน่วยทางเลือกที่พิจารณา โดยแสดงแบบจำลอง BCC ได้ดังแสดงในสมการที่ (11) – (15) ทั้งนี้แบบจำลอง BCC เป็นการสร้างตัวแบบ dual ของตัวแบบ primal ของ DEA ตามแบบจำลอง CCR และมีการเพิ่มสมการข้อจำกัดที่ว่า $\sum_k \lambda_k = 1$ โดยมีตัวแปรตัดสินใจคือ λ_k สำหรับแต่ละทางเลือก k ใดๆ

$$\text{Minimize Efficiency} \quad \square \quad (11)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{k \in K} \lambda_k x_{i,k} \leq \theta x_{i,k_0} \quad ; \forall i \in I \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K} \lambda_k y_{i,k} \geq y_{i,k_0} \quad ; \forall j \in J \quad (13)$$

$$\sum_k \lambda_k = 1 \quad (14)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad (15)$$

นอกจากนี้สามารถทำการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าขนาดการผลิตของหน่วยที่ศึกษามีความคงที่หรือผันแปรหรือไม่โดยใช้การคำนวณประสิทธิภาพเชิงขนาด (Scale Efficiency – SE) ซึ่งเป็นการคำนวณโดยหาสัดส่วนระหว่างผลที่ได้ของ DEA แบบจำลอง CCR เรียกว่าประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Efficiency – TE_{CRS}) และ DEA แบบจำลอง BCC เรียกว่าประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Efficiency – TE_{VRS}) ดังแสดงในสมการที่ (16) ซึ่งค่า SE เท่ากับ 1 แสดงว่าประสิทธิภาพเชิงขนาดของหน่วยที่ศึกษามีค่าคงที่ ในขณะที่ค่า SE ไม่เท่ากับ 1 แสดงว่าประสิทธิภาพเชิงขนาดของหน่วยที่ศึกษามีความผันแปร ทั้งนี้หากพบว่าประสิทธิภาพเชิงขนาดมีความผันแปร สามารถวิเคราะห์ต่อได้ว่ามีลักษณะเป็นแบบยังเพิ่มขนาดยิ่งดี (Increasing Return to Scale - IRS) เมื่อค่า SE มากกว่า 1 หรือลักษณะแบบควรลดขนาดหรือยิ่งลดขนาดยิ่งดี (Decreasing Return to Scale – DRS) เมื่อค่า SE น้อยกว่า 1 นั่นเอง

$$SE = \frac{TE_{CRS}}{TE_{VRS}} \quad (16)$$

$$; TE_{CRS} = TE_{VRS} \text{ หน่วย DMU ใดๆ มีระดับการผลิตที่คงที่}$$

$$; TE_{CRS} \neq TE_{VRS} \text{ หน่วย DMU ใดๆ มีระดับการผลิตที่ไม่คงที่}$$

3) การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LINDO

3.1) การวิเคราะห์แบบจำลอง CCR ใน LINDO

ในการสร้างแบบจำลอง CCR ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยแยกศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการอัครกัญแยกเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมจำนวน 9 กลุ่ม แล้วทำการใส่ข้อมูลด้านปัจจัยนำเข้าและปัจจัยนำออกในแบบจำลอง โดยแสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง CCR ในโปรแกรม LINDO เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัครกัญของกลุ่ม 1) อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า สำหรับปี พ.ศ. 2556 ได้ดังแสดงในสมการที่ (17) – (27) โดยฟังก์ชันเป้าหมาย (17) และสมการข้อจำกัดที่ (18) เป็นข้อมูลปัจจัยผลลัพธ์ และข้อมูลปัจจัยนำเข้า ของกลุ่มอุตสาหกรรม 1) ที่ทำการศึกษา ตามลำดับ ในขณะที่สมการที่ (19) – (27) แสดงข้อจำกัดของทั้ง 9 กลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งการคำนวณหา



ค่าประสิทธิภาพของกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน โดยจะมีตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ สำหรับการคำนวณ 9 กลุ่มอุตสาหกรรม

$$\text{MAXIMIZE} \quad 0.01Y1-1.3Y2 \quad (17)$$

SUBJECT TO

$$1X1+0.02X2 = 1 \quad (18)$$

$$0.01Y1-1.3Y2-1X1-0.02X2 \leq 0 \quad (19)$$

$$0.05Y1-21.3Y2-148X1-0.12X2 \leq 0 \quad (20)$$

$$1.33Y1-331.5Y2-0.002Y3-1730X1-3.33X2 \leq 0 \quad (21)$$

$$0.96Y1-33.5Y2-992X1-2.4X2 \leq 0 \quad (22)$$

$$0.44Y1-412Y2-0.005Y3-363.3X1-1.09X2 \leq 0 \quad (23)$$

$$0.04Y1-25.5Y2-86.3X1-0.11X2 \leq 0 \quad (24)$$

$$0.88Y1-86.3Y2-1334X1-2.19X2 \leq 0 \quad (25)$$

$$1.72Y1-106.4Y2-1658X1-4.30X2 \leq 0 \quad (26)$$

$$0.98Y1-86.1Y2-0.003Y3-698.8X1-2.46X2 \leq 0 \quad (27)$$

END

3.2) การวิเคราะห์แบบจำลอง BCC ใน LINDO

นอกจากนี้ สามารถแสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง BCC เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรม LINDO เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กีย ของกลุ่ม 1) อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า สำหรับปี พ.ศ. 2556 ได้ดังแสดงในสมการที่ (28) – (34) โดย L แทนตัวแปร λ ใดๆ และมีสมการข้อจำกัดที่ (29) - (30) แทนข้อจำกัดเกี่ยวกับปัจจัยนำเข้าใดๆ ส่วนสมการข้อจำกัดที่ (31) – (33) แทนข้อจำกัดเกี่ยวกับปัจจัยผลลัพธ์ ใดๆ

$$\text{MINIMIZE THETA} \quad (28)$$

SUBJECT TO

$$1L1+148L2+1730L3+992L4+363.3L5+86.3L6+1334L7+1658L8+698.8L9-1\text{THETA} \leq 0 \quad (29)$$

$$0.02L1+0.12L2+3.33L3+2.40L4+1.09L5+0.11L6+2.19L7+4.30L8+2.46L9-0.02\text{THETA} \leq 0 \quad (30)$$

$$0.01L1+0.05L2+1.33L3+0.96L4+0.44L5+0.04L6+0.88L7+1.72L8+0.98L9 \geq 0.01 \quad (31)$$

$$1.3L1+21.3L2+331.5L3+33.5L4+412L5+25.5L6+86.3L7+106.4L8+86.1L9 \geq 1.3 \quad (32)$$

$$0.002L3+0.005L5+0.003L9 \geq 0 \quad (33)$$

$$L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7+L8+L9 = 1 \quad (34)$$

END



ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการอัคริภคัยแยกเป็นกลุ่มอุตสาหกรรม โดยจำแนกออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า 2) กลุ่มประกอบกิจการเกี่ยวกับการแปรรูปไม้ 3) กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับพลาสติก โฟม กระดาษ ยาง 4) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย 5) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ รีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช 6) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม 7) กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร 8) เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก และ 9) กลุ่มกิจการอื่นๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรม สามารถสรุปเป็นค่าประสิทธิภาพเปรียบเทียบให้เห็นตามช่วงเวลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 จนถึงปี พ.ศ. 2558 ดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ในปี พ.ศ. 2556 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ CRS พบว่าในกลุ่มที่ 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคริภคัย (ค่า CRS เท่ากับ 1 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพ 100%) ซึ่งดีกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ยังไม่มีประสิทธิภาพด้านการจัดการได้เทียบเท่ากัน และในปี พ.ศ. 2557 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพพบว่า กลุ่มที่ 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) กลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย กลุ่มที่ 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) และกลุ่มที่ 7 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับอาหาร) มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคริภคัย (ค่า CRS เท่ากับ 1 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพ 100%) และในปี พ.ศ. 2558 เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพ CRS จากตัวแบบ CCR พบว่า กลุ่มที่ 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) กลุ่มที่ 4 กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย กลุ่มที่ 5 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับสี สารไวไฟ รีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว สกัดน้ำมันจากพืช) และกลุ่มที่ 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอัคริภคัย (ค่า CRS เท่ากับ 1 หรือคิดเป็นประสิทธิภาพ 100%)

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองภายใต้สมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (VRS) ที่ได้จากแบบจำลอง BCC และการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงขนาด (SE) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยแสดงค่าแนวโน้ม SE ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมในช่วงปี 2556–2558 ดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้พบว่ามีกลุ่มอุตสาหกรรมจำนวน 2 กลุ่ม นั่นคือกลุ่มที่ 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย) ที่ยังคงประสิทธิภาพที่ดีตลอดได้ทั้ง 3 ปีเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ โดยมีค่า SE ที่แสดงว่าประสิทธิภาพเชิงขนาดคงที่หรือขยายได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์กลุ่มที่ 6 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม) พบว่ามีแนวโน้มประสิทธิภาพการจัดการที่ดีขึ้นในช่วงสองปีหลัง ส่วนกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 7 พบว่าอย่างน้อยในรอบสามปีมีค่าประสิทธิภาพที่ดีหนึ่งครั้ง และส่วนกลุ่มที่ 3, 8 และกลุ่มที่ 9 พบว่าตลอด 3 ปีที่ทำการศึกษา ยังคงมีการบริหารจัดการด้านอัคริภคัยที่ไม่ดี อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในระดับกลุ่มของอุตสาหกรรม ทางผู้วิจัยเสนอแนะว่าการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ DEA เป็นการวัดประสิทธิภาพการจัดการที่วิเคราะห์เฉพาะทางเลือกที่นำมาพิจารณาระหว่างกลุ่มด้วยกันเท่านั้น และผลการศึกษาที่ได้ก็ขึ้นอยู่กับข้อมูลของปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ด้วย ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาผลเชิงลึกต่อไป ในการนำผลจากการศึกษานี้ไปใช้ต่อไป

เมื่อพิจารณาในแง่ของปัจจัยความหลากหลายของกลุ่มอุตสาหกรรม จะเห็นได้ว่า ทั้ง 9 กลุ่มอุตสาหกรรมมีลักษณะของการดำเนินกิจการที่มีความเสี่ยงแตกต่างกันไป ทั้งนี้ พบว่ามี 2 กลุ่มกิจการที่มีความเสี่ยง ประกอบด้วยกลุ่มที่ 1 (กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า) และกลุ่มที่ 4 (กลุ่มกิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี



สารอันตราย) ที่ยังคงประสิทธิภาพที่คัดลอกได้ทั้ง 3 ปีเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น สะท้อนให้เห็นถึงความตื่นตัวในการบริหารจัดการด้านอค์กียของสถานประกอบการด้านนี้ ส่วนกลุ่มที่ 3) กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับพลาสติก โฟม กระดาษ ยาง กลุ่ม 8) เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อุตสาหกรรมเหล็ก และ 9) กลุ่มกิจการอื่นๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรมพบว่าตลอด 3 ปีที่ทำการศึกษา ยังคงมีการบริหารจัดการด้านอค์กียที่ไม่ดี ซึ่ง กลุ่ม 3 และ 8 ต่างเป็นกิจการที่มีความเสี่ยงทั้งในแง่ของกระบวนการผลิตและเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในสถานประกอบการ เมื่อเกิดเหตุจึงมีการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก และกลุ่ม 9) กลุ่มกิจการอื่นๆ และที่ไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรม จึงอาจยังขาดทั้งองค์ความรู้ เงินทุนและแนวทางการจัดการป้องกันอค์กียที่ดี ดังนั้นผลจากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเพื่อพัฒนาแนวนโยบายและเสริมสร้างองค์ประกอบของประสิทธิภาพสำหรับการบริหารจัดการอค์กียในกลุ่มอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษาคต่อไป

สรุปผลและทิศทางการวิจัยในอนาคต

อค์กียที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อชีวิตและทรัพย์สิน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม และชุมชนโดยรอบโรงงานอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการจัดการอค์กียว่ามีความประสิทธิภาพดีและเหมาะสมหรือไม่ โดยมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กียในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตกลุ่มต่างๆ ในประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล หรือ Data Development Analysis (DEA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบริหารจัดการในหน่วยงานต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่หลากหลาย

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านอค์กียรายกลุ่มอุตสาหกรรมพบว่า กลุ่มอุตสาหกรรมที่ 1) ซึ่งเป็น อุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยจากพืช ฟอกย้อมผ้า และ กลุ่มที่ 4) กิจการเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปิโตรเคมี สารเคมี สารอันตราย พบว่ามีประสิทธิภาพการบริหารจัดการอค์กียที่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาทั้ง 3 ปี (2556-2558) ส่วน กิจการกลุ่มที่ 6) ซึ่งเป็นกิจการเกี่ยวกับกากหรือขยะอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าประสิทธิภาพที่เฉพาะในช่วงสองปีหลัง คือ ปี 2557-2558 เท่านั้น ส่วนกลุ่มกิจการกลุ่มที่ 8) ที่เป็นกิจการเครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ และอุตสาหกรรมเหล็ก พบว่ามีประสิทธิภาพการอค์กียที่ไม่มีประสิทธิภาพทั้ง 3 ปี

สำหรับทิศทางการวิจัยในอนาคต ทางผู้วิจัยแนะนำว่าควรมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการบริหารจัดการอุบัติเหตุทางด้านอื่นๆ นอกจากเพลิงไหม้ด้วย เช่น อุบัติเหตุจากเครื่องจักร อุบัติเหตุจากไฟฟ้าลัดวงจร เป็นต้น โดยอาจทำการศึกษำแนกเป็นรายกลุ่มอุตสาหกรรม หรือเป็นภาพรวมการบริหารจัดการทั้งประเทศ หรืออาจแยกการศึกษาตามกลุ่มจังหวัดก็ได้ นอกจากนี้สามารถใช้เครื่องมือ DEA ในการวิเคราะห์ร่วมกับการบูรณาการเครื่องมืออื่นๆ ทางด้านการทำการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi Criteria Decision Making : MCDM) เช่น ใช้ DEA ร่วมกับเครื่องมือกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process :AHP) เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลจากการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์และคำนึงถึงความคิดเห็นของผู้ทำการตัดสินใจได้ด้วย

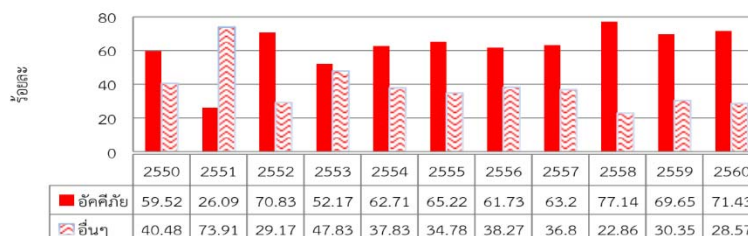


เอกสารอ้างอิง

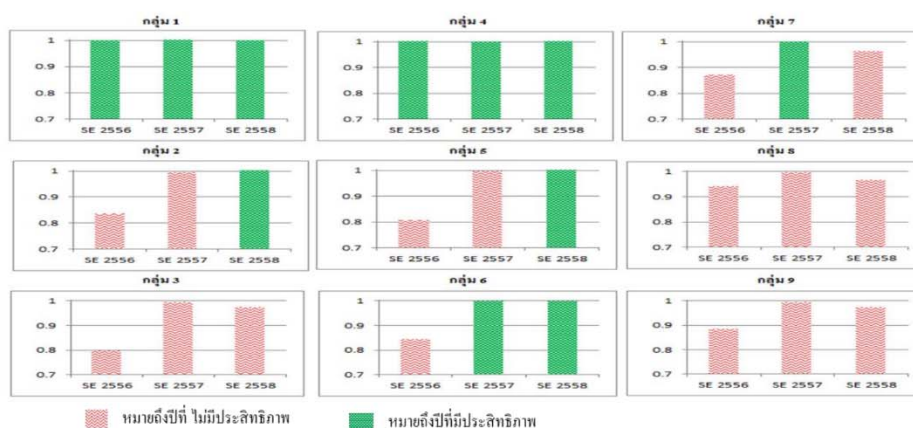
1. Department of Public Disaster Prevention and Mitigation [Internet]. Bangkok; 2019 [cited 1 April 2019]. Available from: <http://info.dla.go.th/>
2. Goufoc D, Chokkid AP, Yengoa MV. Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire. *Procedia Computer Science* 2018;130:10-17.
3. Safety Technology Bureau Division of the Industrial factory. Operation manual according to the announcement of the Ministry of Industry on the prevention and extinguishing of fire in the factory in 2009 [Internet]. Bangkok;2019 [cited 2 March 2019]. Available from: <http://www.diw.go.th/hawk/news/>
4. Safety Technology Promotion Division, Department of Industrial Works. Accident Statistics, 2007-2017 [Internet]. Bangkok;2019 [cited 1 March 2019]. Available from: <http://oaep.diw.go.th/safety/>
5. Nisakorn S. Assessment of supplier performance with DEA techniques, case studies of dairy companies. *Engineering research and development journal* 2014: 25(3)
6. Boopawarn P. Psychiatric hospital performance by DEA method. *Journal of Mental Health of Thailand* 2010: 18(3)
7. Prasopchai P. Variable selection methods for organizational efficiency with the DEA method. *Business Administration Journal* 2008: 31(118)
8. Sawarin P. Evaluation of the efficiency of the rubber fund cooperative in Songkhla province by using DEA. *KKU Res. J.* 2013: 18 (5)
9. Wattana C, Niroot W, Kitti W, Kasin R. Assessment of fire management efficiency in the northeastern provinces with Data Envelopment Analysis technique. In Chawarit T, editor. *Ubon Ratchathani University Conference* 12. July 2018; Theparatsiripapha Ubon Ratchathani University; 2018.p. 272 -278
10. Suriya S, Thodsapon S, Natipong C, Kanchanawadee L, Kasin R. The study of the borrowing efficiency of commercial banks in the Northeastern Province by using Data Envelopment Analysis. In Repeepan P, Kurachet P, editor. *Industrial Engineering Network Conference 2018 (IE Network 2018)*; 23-26 July 2018; Sunee Grand and Conven Hotel Center Center. Ubon Ratchathani Province ; 2018.p. 358-362
11. Russo F, Rindone C. Data envelopment analysis for planning emergency. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 2012 ;155:1091-1101.
12. Ransikarbum K, Kim N. Data envelopment analysis-based multi-criteria decision making for part orientation selection in fused deposition modeling. In *IEEE. 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* 2017 p. 81-85
13. Abbott M, Doucouliagos C. The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis. *Economics of Education review* 2003 ;22(1):89-97.
14. Adler N, Friedman L, Sinuany-Stern Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European journal of operational research.* 2002 ;140(2):249-265.
15. Charnes A, Cooper WW, Lewin AY, Seiford LM, editors. *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications.* Springer Science & Business Media; 2013.



16. Coelli T. A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Australia. 1996.
17. Cooper WW, Seiford LM, Zhu J. Data envelopment analysis. Handbook on data envelopment analysis. International Series in Operations Research & Management Science. 2004;71: 1-39.
18. Mardani A, Zavadskas EK, Streimikiene D, Jusoh A, Khoshnoudi M. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017 Apr 1;70:1298-1322.
19. Niront W, Wattana J, Kittu W, Kasin R. Research direction and application of decision-making techniques using Data Envelopment Analysis methods in Thailand. In Repepan P, Kurachet P, editor. Industrial Engineering Network Conference 2018 (IE Network 2018); 23-26 July 2018; Sunee Grand and Conven Hotel Center Center. Ubon Ratchathani Province ; 2018.p. 293-299
20. Industrial accident database system, Department of Industrial Works, 2013-2015 [Internet]. Bangkok;2019 [cited 1 March 2019]. Available from: <http://warroom.diw.go.th/safety/>
21. Thai. Law. Ministerial regulations prescribing standards for the management and operation of safety, occupational health and working environment regarding fire prevention and suppression. Bangkok: Ministry of Labour 2012.
22. LINDO program [Internet]. Chicago; 2019 [cited 1 January 2019]. Available from: <https://www.lindo.com/index.php/ls-downloads>.
23. Kasin R. Course documentation Multi-Criteria Decision Making, Faculty of Engineering Department of Industrial Engineering Ubon Ratchathani University; 2017.
24. Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. Management science. 1981;(6): 668-697.
25. Banker RD, Charnes A, Cooper WW. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management science. 1984;30(9): 1078-1092.



ภาพที่ 1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานในไทย ปี 2550-2560 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม [2])



ภาพที่ 2 ค่าประสิทธิภาพเชิงขนาด (SE) การจัดการด้านอค์กัถย รยกลุ่มอุตสาหกรรรม ปี พ.ศ. 2556-2558

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยด้านการบริหารจัดการอค์กัถยในลุ่มอุตสาหกรรรม

กลุ่ม อุตสาหกรรรม	ปัจจัยนำเข้า (Input Criteria)									ปัจจัยนำออก (Output Criteria)					
	เงินทุน (ล้านบาท)			จำนวนคนงาน (พันคน)			พนักงานที่ผ่านการอบรม ดัดแปลง (พันคน)			ค่าเสียหาย (ล้านบาท)			ผู้บาดเจ็บ/เสียชีวิต (พันคน)		
ปี พ.ศ.25..	56	57	58	56	57	58	56	57	58	56	57	58	56	57	58
1	1	817.4	200	0.02	4.30	2.00	0.01	1.72	0.80	1.3	12.9	10	0	0	0.002
2	148	53.1	243.3	0.12	0.30	0.30	0.05	0.12	0.12	21.3	15.2	5.9	0	0.013	0
3	1730	677.7	1919.6	3.33	0.45	8.10	1.33	0.18	3.24	331.5	102.7	134.6	0.002	0	0.001
4	992	1502	481	2.40	4.04	2.20	0.96	1.62	0.88	33.5	2.2	1.4	0	0.005	0
5	363.3	571.1	1359.5	1.09	4.04	2.02	0.44	1.62	0.81	412	58	4.0	0.005	0.002	0.001
6	86.3	109	9.5	0.11	2.04	0.04	0.04	0.82	0.02	25.5	44	6.5	0	0	0
7	1334	315.6	801	2.19	4.80	2.22	0.88	1.92	0.89	86.3	58.9	56	0	0	0
8	1658	3858.2	16707.3	4.30	13.02	11.06	1.72	5.21	4.42	106.4	141.7	223.7	0	0.003	0.019
9	698.8	142.2	3812.5	2.46	2.10	12.26	0.98	0.84	4.90	86.1	1517.8	207.7	0.003	0.003	0.003

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพของ DEA แบบจำลอง CCR ทางกรจัดการด้านอค์กัถย รยกลุ่มอุตสาหกรรรม ปี พ.ศ. 2556

กลุ่มอุตสาหกรรรม	ค่าประสิทธิภาพการกรจัดการ ด้านอค์กัถย (TE _{CRS})		
	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558
1. กลุ่มกักรเกี่ยวกับสัธอ เส่นโยจากพีซ ฟออ้อมคั	1.000	1.000	1.000
2. กลุ่มกักรเกี่ยวกับการแปรรูปไม้	0.833	0.995	0.970
3. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระดาษ ยาง	0.798	0.995	0.975
4. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ เคมีภัณฑ์ ปีโครเคมี สารเคมี สารอันตราย	1.000	1.000	1.000
5. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ สึ สารเคมี วัไฟ นัมนรีโซเคลโซแล้ว สกัณัมนจากพีซ	0.807	0.998	1.000
6. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ กาก หรือขยะอุตสาหกรรรม	0.727	1.000	1.000
7. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ อาหาร	0.871	1.000	0.964
8. กลุ่มกักรเกี่ยวกับ เครืองใช้ไฟฟัอเล็กรอนิกส์ ยานยนต์ และเหล็ก	0.943	0.998	0.968
9. อื่นๆ ทั่วไป ไม้ใช้โรงงาน	0.885	0.995	0.973



ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพเชิงขนาด (SE) ทางการจัดการด้านอค์กัถย รยกลุ่มอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2556-2558

กลุ่มอุตสาหกรรม	ค่าประสิทธิภาพการจัดการด้านอค์กัถย								
	ปี 2556			ปี 2557			ปี 2558		
	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	1.003	1.000	1.000	1.000
2	0.833	0.996	0.836	0.995	1.000	0.995	0.970	0.967	1.003
3	0.798	1.000	0.798	0.995	0.999	0.996	0.975	1.000	0.975
4	1.000	0.997	1.003	1.000	1.000	1.000	1.000	0.997	1.003
5	0.807	1.000	0.807	0.998	1.000	0.998	1.000	0.998	1.002
6	0.727	0.860	0.845	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	0.871	1.000	0.871	1.000	1.000	1.000	0.964	1.000	0.964
8	0.943	1.000	0.943	0.998	1.000	0.998	0.968	1.000	0.968
9	0.885	1.000	0.885	0.995	1.000	0.995	0.973	1.000	0.973

ภาคผนวก ข

บทความวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์จุดรวมพลหนีไฟด้วยวิธีคำนวณน้ำหนักข้อมูลของแอนโตรปี
และเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ

การวิเคราะห์จุดรวมพลหนีไฟด้วยวิธีค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีและเทคนิค เรียงลำดับตามอุดมคติ

An Analysis of Fire Assembly Point using Information Entropy Weight and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

วัฒนา จันทะโคตร และ กสิณ รังสิกรรพุม*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ. อุบลราชธานี 34190
E-mail: kasinphd@gmail.com*

Wattana Chanthakhot and Kasin Ransikarbum*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Ubonratchathani University, Ubonratchathani, 34190,
E-mail: kasinphd@gmail.com*

Received 21 Apr 2020; Revised 14 Jun 2020

Accepted 19 Jun 2020; Available online 27 Jun 2020

บทคัดย่อ

การเลือกจุดรวมพลหนีไฟที่เหมาะสมในการวางแผนการจัดการเหตุฉุกเฉินส่งผลต่อการลดความเสี่ยงต่อผู้
อพยพจากการเกิดเพลิงไหม้และการป้องกันความผิดพลาดในการบริหารจัดการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยงานวิจัย
นี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ตำแหน่งจุดรวมพลในการหนีไฟในกรณีเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบ
หลายปัจจัยในการวิเคราะห์กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ซึ่งประกอบไปด้วยทางเลือก
4 จุดรวมพล และอาคารหลักที่อาจเกิดเพลิงไหม้ 5 อาคาร โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการ
เลือกจุดรวมพลหนีไฟจาก 7 ปัจจัย คือ 1) ระยะทางจากพื้นที่อาคารเพลิงไหม้ไปจุดรวมพล 2) ขนาดความจุของจุดรวม
พล 3) ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดสารไวไฟในโรงงานกับจุดรวมพล 4) ระยะห่างระหว่างทางออกไปนอกพื้นที่โรงงาน
กับจุดรวมพล 5) ความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล 6) จำนวนเส้นทางการอพยพที่เชื่อมต่อกับจุดรวมพล และ 7)
ระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล ด้วยเทคนิคค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีซึ่งใช้ความเข้มข้นของข้อมูลใน
การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักโดยแปรผันตามข้อมูลที่ใช้ ซึ่งพบว่าปัจจัยหลักที่สำคัญที่สุดคือระยะห่างระหว่างทางออกไป
นอกพื้นที่โรงงานกับจุดรวมพล ส่วนปัจจัยที่สำคัญน้อยที่สุดคือความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล โดยผลการ
วิเคราะห์จุดรวมพลทั้ง 4 จุดด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ พบว่าจุดรวมพลที่ 2 บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อ
ยamaxของกรณีศึกษาเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนการหนีไฟและ
วิเคราะห์ความเหมาะสมของจุดรวมพลในกรณีศึกษาของอาคาร และสถานที่อื่น ๆ ได้ต่อไป

คำหลัก: จุดรวมพลหนีไฟ การวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย ค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ

Abstract

Selection of suitable fire assembly point during an emergency management plan can help to reduce the risk for fire evacuees and prevent mismanagement of relevant departments. In this research, we analyze the suitability of the fire assembly point using the multi-criteria decision analysis technique for a case study of the home appliance factory. The case study comprises of 4 possible assembly points and 5 buildings that may be the start of fire. Initially, we evaluate the relative weight of seven key criteria deemed important for the selection of the fire assembly point, which are 1) the distance between a working area under fire and an assembly point, 2) the capacity of an assembly point, 3) the distance between harmful fire sources and an assembly point, 4) the distance between an exit of the factory area and an assembly point, 5) the width of the main road connected to an assembly point, 6) the number of possible routes connected to an assembly point, and 7) the distance between a medical room and an assembly point. The Information Entropy Weight technique is then used to evaluate the criteria weight based on the intensity of available data. Our analysis shows that the most important criterion is the distance between an exit of the factory area and an assembly point, whereas the width of the main road connected to an assembly point is the least important criterion. Next, we analyze four possible assembly points using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and find that the second assembly point being an area in front of the cafeteria close to the guard house of the case study is the best alternative. The results from this study can be applied to fire evacuation planning and to selection problems for muster points of other facilities.

Keywords: Fire assembly point, Multi-criteria decision analysis, Information Entropy weight, Technique for order preference by similarity to ideal solution

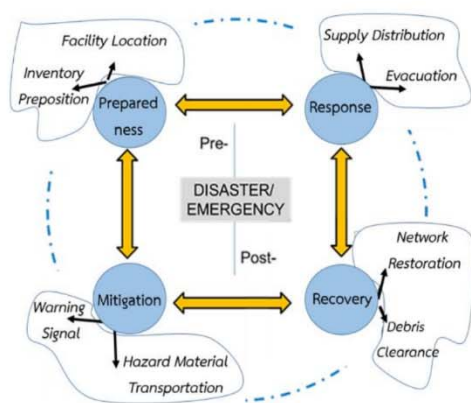
1. บทนำ

การวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉิน (Emergency Planning) เป็นเรื่องสำคัญสืบเนื่องจากความรุนแรงของอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเพลิงไหม้ ถือเป็นอุบัติเหตุร้ายแรงประเภทหนึ่ง ที่นำมาซึ่งการบาดเจ็บต่อร่างกาย การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน โดยจากข้อมูลจากกระทรวงอุตสาหกรรม [1] ระบุว่ามีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยบ่อยครั้ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2558 โดยมีการเกิดอุบัติเหตุขึ้นในประเทศไทยกว่า 52,000 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 1,740 คน ผู้บาดเจ็บ 4,532 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายกว่า 31,000 ล้านบาท [1] โดยปัจจุบันหน่วยงานของภาครัฐบาลและภาคเอกชนได้ตระหนักถึงความสำคัญในการป้องกันอัคคีภัยมากขึ้น รวมถึงการณรงค์ด้าน

ความปลอดภัยในการใช้อาคารต่าง ๆ [2-7] ทั้งนี้ ในขั้นตอนการจัดการเหตุฉุกเฉิน (Emergency Management) ได้มีการแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลักดังแสดงในรูปที่ 1 โดยพิจารณาจากช่วงก่อนเกิดเหตุในการลดความรุนแรงจากเหตุฉุกเฉินให้น้อยลง (Mitigation Phase) ช่วงการเตรียมการสำหรับเหตุฉุกเฉิน (Preparedness Phase) รวมถึงช่วงหลังการเกิดเหตุฉุกเฉินที่เน้นการตอบสนองทันทีหลังจากเกิดเหตุ (Response Phase) และการแก้ไขเหตุการณ์ให้กลับมาอยู่ในสภาพปกติเช่นเดิม (Recovery Phase) โดยจุดประสงค์ของ Mitigation Phase คือการป้องกันก่อนเกิดเหตุขึ้น ส่วนจุดประสงค์ของ Preparedness Phase คือการความพร้อมก่อนเกิดเหตุฉุกเฉิน ในขณะที่ช่วงหลังจากที่เกิดเหตุฉุกเฉินแล้ว จุดประสงค์ของ Response Phase คือการตอบสนองกับเหตุฉุกเฉินที่เกิดขึ้น โดยมีการจัดการกับ

วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal)

ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบเหตุ และสุดท้ายจุดประสงค์ของ Recovery Phase คือการแก้ไขเหตุการณ์ให้กลับมาในสภาพปกติให้เร็วที่สุดซึ่งรวมถึงการซ่อมแซมความเสียหายต่อทรัพย์สินด้วย [8-9] โดยในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการวิเคราะห์จุดรวมพลหนีไฟในช่วงก่อนเกิดเหตุฉุกเฉินใน Mitigation Phase ของกระบวนการจัดการเหตุฉุกเฉิน



รูปที่ 1 กระบวนการจัดการเหตุฉุกเฉิน [8]

ทั้งนี้ ในการเกิดเหตุฉุกเฉินต่าง ๆ รวมถึงการเกิดเพลิงไหม้ มีความจำเป็นที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมถึงผู้อพยพควรได้รับคำแนะนำที่ถูกต้องล่วงหน้าเกี่ยวกับจุดรวมพล (Assembly Point) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้อพยพเกิดการกระจัดกระจาย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการตรวจนับ การตรวจสอบรายชื่อของผู้อพยพ รวมถึงความเสี่ยงอันตรายในการค้นหาผู้ประสบภัยโดยไม่จำเป็น โดยได้มีการนิยามจุดรวมพลว่าหมายถึงจุดนัดหมายที่ปลอดภัยที่ผู้อพยพจากบริเวณที่เกิดเหตุสามารถอพยพมารวมกันเพื่อรายงานและนับจำนวนได้ ทั้งนี้ได้มีการกำหนดเงื่อนไขและปัจจัยที่เกี่ยวกับการอพยพไปจุดรวมพลไว้ในข้อปฏิบัติต่าง ๆ เช่นการอพยพควรเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ปลอดภัยโดยใช้บันไดหนีไฟ และห้ามใช้ลิฟต์ รวมถึงการไม่ควรอพยพไปที่จุดอัปในอาคารรวมถึงหนีไฟขึ้นไปบนชั้นดาดฟ้า เป็นต้น โดยการ

พิจารณาเลือกจุดรวมพลนั้น เกี่ยวข้องกับหลากหลายปัจจัยซึ่งอาจมีความขัดแย้งกัน เช่น ขนาดที่เหมาะสมต่อการรองรับจำนวนผู้อพยพ รวมทั้งจำนวนทางเลือกของจุดรวมพลในการหลบหลีกปัจจัยความเสี่ยงต่าง ๆ นอกจากนี้จุดรวมพลควรเป็นจุดที่เข้าถึงได้ง่ายโดยตำแหน่งของจุดรวมพลควรอยู่ในระยะที่ห่างไกลจากจุดที่เกิดเหตุ นอกจากนี้การพิจารณาจุดรวมพลควรคำนึงถึงโอกาสในการเจอความเสี่ยงภัยอื่น ๆ เพื่อให้การอพยพสามารถทำได้อย่างราบรื่น [6-7] เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านการจัดการเหตุฉุกเฉินมีอยู่อย่างจำกัด [8-9] โดยเฉพาะในประเทศไทย นอกจากนี้ ไม่พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาวเคราะห์ตำแหน่งของจุดรวมพลในแวดวงวิจัยที่พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเลือกจุดรวมพลที่เหมาะสมภายใต้หลากหลายปัจจัย โดยทำการศึกษาโดยใช้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ซึ่งประกอบไปด้วยทางเลือก 4 จุดรวมพล และอาคารหลัก 5 อาคาร โดยทำการวิเคราะห์การเกิดเหตุฉุกเฉินในแต่ละอาคาร แล้วทำการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกจุดรวมพล ด้วยเทคนิคค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี (Information Entropy Weight : IEW) ร่วมกับการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution : TOPSIS)

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) โดยวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกจุดรวมพลด้วยเทคนิคเทคนิคค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) จากนั้นทำการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วยเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) ตามลำดับ

2.1 การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA)

เครื่องมือการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) เหมาะกับการวิเคราะห์การตัดสินใจที่เน้น

การวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุดภายใต้ปัจจัยที่ขัดแย้งกัน ทั้งนี้เครื่องมือ MCDA มีหลากหลายวิธี เช่นการประยุกต์ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) โดยวัฒนาและกสิณ [10] ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพของการจัดการอศศภในแต่ละจังหวัดของประเทศไทย และนิรุทธิ์และกสิณ [11] ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของนิคมอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น การประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) โดย Chaiyaphan และ Ransikarbum [12] ทำการวิเคราะห์ปัจจัยของการวางผังของตลาดสด และ Khamhong และคณะ [13] ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านการเลือกเครื่องพิมพ์แบบสามมิติ และการใช้เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) เช่น กิตติและกสิณ [14] ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของชิ้นงานบนเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นต้น โดยมีข้อดีข้อเสียต่างกัน เช่นวิธีการ DEA มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพซึ่งอาจแยกความแตกต่างระหว่างทางเลือกไม่ได้ ในขณะที่ AHP มีข้อเสียทางด้านการให้ข้อมูลที่เป็เชิงข้อคิดเห็นซึ่งอาจมีความผิดพลาดในการให้ข้อมูล เป็นต้น [21] ทั้งนี้ Ho [15] ได้แนะนำว่างานวิจัยเกี่ยวกับ MCDA ควรเป็นการบูรณาการเครื่องมือต่างๆ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาข้อเสียของแต่ละเครื่องมือที่มีอยู่ โดยในงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการการใช้เครื่องมือเทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี (IEW) ร่วมกับเทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS)

2.2 เทคนิคข้อมูลของเอนโทรปี (IEW)

การวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัย สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือทาง MCDA ต่าง ๆ ซึ่งปกติแล้วค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของปัจจัยอาจถูกกำหนดโดยใช้วิธีเชิงความคิดเห็น (Subjective Weight Method) เช่นวิธีการนับของบอร์ดา (Borda Count) วิธี Delphi หรือวิธี AHP เป็นต้น [16] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้วิจารณ์ญาณและความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของบุคคล ซึ่งนักวิจัยได้แนะนำให้หลีกเลี่ยงการให้ค่าน้ำหนักโดยใช้ความรู้สึกเพื่อลดความลำเอียง (Bias) ที่อาจเกิดขึ้น และเพื่อเป็นการใช้

ข้อมูลที่มีอยู่ในการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแทนการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในเชิงการใช้ข้อมูล [16] โดยการใช้วิธีเชิงข้อมูล (Objective Weight Method) ซึ่งวิธีการ IEW ได้ถูกคิดโดย Shannon [17] โดยเป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการหาค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้ความเข้มข้นของข้อมูลที่มีอยู่แล้วในการสังเคราะห์เป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้รับความนิยมในหลายงานวิจัย โดยแสดงขั้นตอนของวิธี IEW ได้ดังแสดงในสมการที่ (1)-(4)

ขั้นตอนที่ 1: การปรับสเกลเมตริกซ์การตัดสินใจ (Normalize Decision Matrix) เรียกว่าค่าโปรเจกชัน (Projection value - p) โดย x_{ij} แสดงข้อมูลการทำการตัดสินใจใดๆ สำหรับทางเลือก $i = 1, \dots, m$ และปัจจัย $j = 1, \dots, n$ ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า Entropy : e สำหรับแต่ละปัจจัย $j = 1, \dots, n$ ดังแสดงในสมการที่ (2) โดยค่า Entropy ยิ่งน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย (Disorder Degree) ซึ่งแสดงว่ามีความสำคัญของข้อมูลค่าน้ำหนักมาก

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณค่าระดับความแตกต่าง (Degree of divergence : div) ของแต่ละปัจจัย j ดังแสดงในสมการที่ (3) โดยความเข้มข้นของข้อมูล ยิ่งมีค่ามาก แสดงถึงความสำคัญมากของข้อมูล

$$div_j = 1 - e_j \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัย ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$w_j = \frac{div_j}{\sum_{j=1}^n div_j} \quad (4)$$

2.3 เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS)

เทคนิค TOPSIS ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Hwang และ Yoon [18] ซึ่งใช้หลักการเลือกทางเลือกจากระยะใกล้ที่สุดของคำตอบที่ดีที่สุด (Positive Ideal Solution : PIS) และระยะใกล้ที่สุดของคำตอบที่แย่ที่สุด (Negative Ideal Solution : NIS) ซึ่งสามารถอธิบายวิธีการ TOPSIS โดยแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางเมตริกซ์การตัดสินใจโดยปรับสเกล (r_{ij}) เพื่อเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นแบบไม่มีหน่วย และใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปัจจัยที่แตกต่างกันได้โดยตรง ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 2: จากข้อมูลน้ำหนักของปัจจัยที่ได้จากสมการที่ (4) และข้อมูลการทำการตัดสินใจที่ได้ทำการปรับสเกลแล้วในสมการที่ (5) ทำการสร้างเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ' v_{ij} ' ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 3: ทำการคำนวณค่าคำตอบในอุดมคติทางบวกซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (PIS) แทนด้วย A^* และคำนวณคำตอบในอุดมคติทางลบซึ่งเป็นคำตอบที่แย่ที่สุด (NIS) แทนด้วย A' ดังแสดงในสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ โดย J คือเซตของปัจจัยแบบที่ยิ่งค่ามากยิ่งขึ้น ส่วน J' คือเซตของปัจจัยแบบที่ยิ่งค่าน้อยยิ่งดี

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}; v_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}), j \in J \\ \min(v_{ij}), j \in J' \end{cases} \quad (7)$$

$$A' = \{v_1', \dots, v_n'\}; v_j' = \begin{cases} \min(v_{ij}), j \in J \\ \max(v_{ij}), j \in J' \end{cases} \quad (8)$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณตัววัดการแยก (Separation Measure) สำหรับแต่ละทางเลือก โดยหาค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัว

วัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') ดังแสดงในสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (9)$$

$$S_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2} \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (Relative Closeness) ที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละทางเลือก แทนด้วย ' C_i^* ' ดังแสดงในสมการที่ (11) และ (12) โดยค่าที่ได้จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่ง 0 หมายถึงทางเลือกที่แย่สุด โดยเป็นทางเลือกที่ไกลจาก PIS และใกล้ NIS ที่สุด ในขณะที่ 1 แสดงถึงทางเลือกที่ดีที่สุด โดยเป็นทางเลือกที่ใกล้ PIS และไกล NIS มากที่สุด ซึ่งสามารถทำการจัดอันดับ (Ranking) ของทางเลือกได้ตามลำดับ

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i^* + S_i'} \quad (11)$$

$$C_i^* = \begin{cases} 1 & \text{if } A_i = A^* \\ 0 & \text{if } A_i = A' \end{cases} \quad (12)$$

3. กรณีศึกษาและการเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ใช้กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องมือเครื่องใช้ในบ้าน (Home Appliance Factory) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา ประกอบไปด้วยอาคารหลักรวม 5 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารส่วนผลิตหลัก 4 อาคาร และอาคารส่วนคลังสินค้าหลัก 1 อาคาร โดยมีบริเวณพื้นที่รอบโรงงานที่สามารถนำมากำหนดเป็นทางเลือก (Alternative) ของจุดรวมพลได้ 4 จุด ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 นอกจากนี้ มีส่วนบริเวณแหล่งสารไวไฟ 3 แห่ง แทนด้วยตำแหน่งกองไฟ บริเวณห้องพยาบาล แทนด้วยเครื่องหมายกากบาท และมีทิศทางในการใช้ถนนภายในโรงงาน แทนด้วยลูกศรตามเส้นทางต่างๆ



รูปที่ 2 กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1 แสดงทางเลือกจุดรวมพลในโรงงาน

	ตำแหน่ง
1	บริเวณด้านหน้าโรงงานใกล้อาคารผลิต 2
2	บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อขยะ
3	บริเวณลานจอดรถบัส ใกล้อาคารผลิต 4
4	บริเวณพื้นที่หลังโรงงานใกล้อาคารคลังสินค้า

ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัย 7 ปัจจัย [6-7] ดังแสดงในตารางที่ 2 คือ 1) ระยะทางจากพื้นที่อาคารไปจุดรวมพล (A) 2) ขนาดความจุจุดรวมพล (B) 3) ระยะห่างระหว่างจุดอันตรายบริเวณพื้นที่โรงงานกับจุดรวมพล (C) 4) ระยะห่างระหว่างทางออกไปนอกพื้นที่โรงงานกับจุดรวมพล (D) 5) ความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล (E) 6) จำนวนเส้นทางการอพยพที่เชื่อมต่อกับจุดรวมพล (F) และ 7) ระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล (G) โดยลักษณะของปัจจัยแบบ Max แสดงว่าค่ายิ่งมากยิ่งดี ในขณะที่ปัจจัยแบบ Min แสดงว่าค่ายิ่งน้อยยิ่งดี

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์จุดรวมพล

ปัจจัย	คำอธิบาย	ลักษณะ
A	ระยะทางพื้นที่อาคารเพลิงไหม้กับจุดรวมพล (เมตร)	Min
B	ขนาดความจุของจุดรวมพล (ตารางเมตร)	Max
C	ระยะห่างจุดแหล่งสารไวไฟกับจุดรวมพล (เมตร)	Max
D	ระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมพล (เมตร)	Min
E	ความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล (เมตร)	Max
F	จำนวนเส้นทางการอพยพเชื่อมต่อจุดรวมพล (เส้นทาง)	Max
G	ระยะห่างระหว่างห้องพยาบาลกับจุดรวมพล (เมตร)	Min

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลจริงของแต่ละทางเลือกจุดรวมพลเมื่อเทียบกับปัจจัยต่าง ๆ โดยการสัมภาษณ์ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจของโรงงานกรณีศึกษา และกำหนดรูปแบบการเกิดเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้ที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละอาคาร รวม 5 อาคาร โดยแสดงผลการเก็บข้อมูลในตารางที่ 3 ทั้งนี้ข้อมูลของปัจจัยที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนจุดเกิดเหตุเพลิงไหม้แต่ละอาคาร คือปัจจัย A ระยะทางพื้นที่อาคารเพลิงไหม้กับ

วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal)

จุดรวมพล ในขณะที่ข้อมูลปัจจัยอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากตำแหน่งการเกิดเหตุฉุกเฉินที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยที่เหลือ

ตารางที่ 3 ข้อมูลปัจจัยเทียบกับทางเลือกจุดรวมพล

ปัจจัย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 1				
A	350	200	380	370
B	1500	1200	2500	1800
C	130	210	200	60
D	60	100	380	610
E	8	8	6	6
F	2	3	2	1
G	250	120	326	430
กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 2				
A	55	100	400	450
B - G	ข้อมูลเหมือนกรณีอาคารผลิต 1			
กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 3				
A	260	380	560	190
B - G	ข้อมูลเหมือนกรณีอาคารผลิต 1			
กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 4				
A	330	110	80	440
B - G	ข้อมูลเหมือนกรณีอาคารผลิต 1			
กรณีเพลิงไหม้อาคารคลังสินค้า				
A	430	280	310	200
B - G	ข้อมูลเหมือนกรณีอาคารผลิต 1			

พล ส่วนปัจจัยที่มีความเข้มข้นของข้อมูลต่ำสุด คือความกว้างของถนนที่เข้าถึงจุดรวมพล ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ มีความเข้มข้นของข้อมูลและลำดับความสำคัญที่แตกต่างกัน ขึ้นกับบริเวณอาคารที่เกิดเหตุฉุกเฉิน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 1

ปัจจัย	e_j	div_j	w_j	ลำดับ
A	0.980	0.020	0.044	6
B	0.973	0.027	0.058	5
C	0.934	0.066	0.143	2
D	0.771	0.229	0.499	1
E	0.993	0.007	0.016	7
F	0.953	0.047	0.103	4
G	0.937	0.063	0.137	3

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 2

ปัจจัย	e_j	div_j	w_j	ลำดับ
A	0.804	0.196	0.308	2
B	0.973	0.027	0.042	6
C	0.934	0.066	0.103	3
D	0.771	0.229	0.361	1
E	0.993	0.007	0.012	7
F	0.953	0.047	0.074	5
G	0.937	0.063	0.099	4

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 3

ปัจจัย	e_j	div_j	w_j	ลำดับ
A	0.942	0.058	0.116	4
B	0.973	0.027	0.054	6
C	0.934	0.066	0.132	2
D	0.771	0.229	0.462	1
E	0.993	0.007	0.015	7
F	0.953	0.047	0.095	5
G	0.937	0.063	0.127	3

4. ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยด้วย IEW

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยโดยวิธี IEW แสดงในตารางที่ 4 – 8 โดยแสดงค่าเอนโทรปี (e_j) ค่าระดับความแตกต่าง (div_j) และค่าน้ำหนักปัจจัย (w_j) สำหรับแต่ละกรณีการเกิดเหตุฉุกเฉินในแต่ละอาคาร ตามลำดับซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีความเข้มข้นของข้อมูลสูงสุด ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดเป็นปัจจัยเดียวกันในทุกกรณีการเกิดเหตุฉุกเฉิน คือระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวม

วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 4

ปัจจัย	e_j	div_j	w_j	ลำดับ
A	0.851	0.149	0.253	2
B	0.973	0.027	0.045	6
C	0.934	0.066	0.112	3
D	0.771	0.229	0.390	1
E	0.993	0.007	0.013	7
F	0.953	0.047	0.080	5
G	0.937	0.063	0.107	4

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย IEW กรณีเพลิงไหม้อาคารคลังสินค้า

ปัจจัย	e_j	div_j	w_j	ลำดับ
A	0.974	0.026	0.056	6
B	0.973	0.027	0.057	5
C	0.934	0.066	0.141	2
D	0.771	0.229	0.493	1
E	0.993	0.007	0.016	7
F	0.953	0.047	0.101	4
G	0.937	0.063	0.135	3

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้วยวิธี IEW แสดงให้เห็นว่าการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในแต่ละอาคารที่ตำแหน่งแตกต่างกัน ควรมีการพิจารณาและให้ความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ในการจัดการเหตุฉุกเฉินที่แตกต่างกันด้วย

4.2 ผลการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วย TOPSIS

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ TOPSIS เริ่มจากการปรับสเกลของตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยสำหรับกรณีการเกิดเหตุเพลิงไหม้อาคารต่าง ๆ จากวิธีการ IEW แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่า PIS และค่า NIS เพื่อคำนวณค่าตัววัดการ

แยกจากคำตอบในอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้ชิดสัมพัทธ์ (C_i^*) ดังแสดงผลในตารางที่ 9 - 13 สำหรับแต่ละกรณีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในแต่ละอาคาร ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วย TOPSIS กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 1

ทางเลือก	S_i^*	S_i'	C_i^*	ลำดับ
1	0.055	0.381	0.873	2
2	0.034	0.366	0.914	1
3	0.226	0.174	0.435	3
4	0.392	0.010	0.024	4

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วย TOPSIS กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 2

ทางเลือก	S_i^*	S_i'	C_i^*	ลำดับ
1	0.039	0.340	0.896	2
2	0.034	0.318	0.904	1
3	0.238	0.128	0.350	3
4	0.347	0.007	0.020	4

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์จุดรวมพลด้วย TOPSIS กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 3

ทางเลือก	S_i^*	S_i'	C_i^*	ลำดับ
1	0.051	0.356	0.874	2
2	0.043	0.339	0.887	1
3	0.216	0.161	0.426	3
4	0.363	0.058	0.138	4

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์จุดรวมผลด้วย TOPSIS กรณีเพลิงไหม้อาคารผลิต 4

ทางเลือก	S_i^*	S_i'	C_i^*	ลำดับ
1	0.120	0.302	0.716	2
2	0.030	0.322	0.915	1
3	0.176	0.211	0.544	3
4	0.346	0.007	0.021	4

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์จุดรวมผลด้วย TOPSIS กรณีเพลิงไหม้อาคารคลังสินค้า

ทางเลือก	S_i^*	S_i'	C_i^*	ลำดับ
1	0.057	0.376	0.868	2
2	0.035	0.361	0.912	1
3	0.223	0.172	0.436	3
4	0.387	0.023	0.055	4

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์จุดรวมผลด้วยวิธี TOPSIS พบว่ามีการแสดงผลในลักษณะเดียวกัน โดยพบว่าทางเลือกจุดรวมผลบริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อหมยม (จุดที่ 2) เป็นบริเวณที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งมีความโดดเด่นทางด้านปัจจัยระยะห่างทางออกนอกโรงงาน และระยะห่างของห้องพยาบาลกับจุดรวมผล ส่วนทางเลือกที่เหมาะสมน้อยที่สุด คือบริเวณพื้นที่หลังโรงงานใกล้อาคารคลังสินค้า (จุดที่ 4) ซึ่งพบว่ามีความเสี่ยงทางด้านระยะห่างจุดแหล่งสารไวไฟ และ ระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมผล

4.3 อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยด้วยวิธี IEW พบว่าปัจจัยที่มีความเข้มข้นของข้อมูลสูงสุด คือปัจจัย D (ระยะห่างทางออกนอกโรงงานกับจุดรวมผล) โดยมีปัจจัยที่สำคัญรองลงมาแตกต่างกันไปขึ้นกับกรณีศึกษาของอาคารที่เกิดเพลิงไหม้ ซึ่งผลรวมของค่าน้ำหนักของปัจจัยสองลำดับแรก พบว่ามีค่าเกิน 0.50 สำหรับทุกกรณีอาคาร ซึ่งผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้ มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดขององค์การป้องกันไฟ

ระดับชาติ (National Fire Protection Association : NFPA) [19] ที่แนะนำว่าเส้นทางอพยพไปยังจุดที่ปล่อยออก (Exit Discharges) โดยเป็นจุดในการนำผู้อพยพออกไปข้างนอกสู่ทางสาธารณะหรือพื้นที่เปิดโล่งภายนอกที่ปลอดภัย ควรเป็นจุดรวมผลที่อยู่ใกล้กับจุดที่ปล่อยออก นอกจากนี้จากข้อมูลของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย [20] ได้แนะนำว่าที่ตั้งของจุดรวมผลต้องเป็นสถานที่ปลอดภัยจากอันตรายที่เกิดจากเพลิงไหม้หรือภัยประเภทอื่น ๆ เช่น การถล่มของอาคาร หรือเศษกระจก และวัสดุที่อาจตกหล่นจากอาคาร เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่ได้

นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ทางเลือกของจุดรวมผล พบว่าจุดรวมผลอันดับแรกที่ดีที่สุดคือทางเลือกที่ 2 (บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อหมยม) และรองลงมาเป็นทางเลือกที่ 1 (บริเวณพื้นที่ด้านหลังโรงงานใกล้อาคารผลิต 2) ซึ่งจากข้อมูลของหน่วยงานต่าง ๆ [6-7] ทางด้านการจัดการการอพยพหนีไฟ ได้แนะนำว่าควรมีการกำหนดจุดรวมผลอย่างน้อย 2 จุด เพื่อใช้สำหรับเป็นทางเลือก หากในกรณีที่จุดหนึ่งไม่สามารถใช้งานได้ นั่นเอง ดังนั้นผลจากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเหตุฉุกเฉินที่เหมาะสมได้ต่อไป

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาดำเนินจุดรวมผลในการหนีไฟในกรณีเกิดเพลิงไหม้ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยในการวิเคราะห์กรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน โดยพิจารณาทางเลือกจุดรวมผล 4 ทางเลือก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจ 7 ปัจจัย และทำการวิเคราะห์กรณีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ใน 5 อาคาร โดยผลจากการวิเคราะห์ทางเลือกของจุดรวมผลด้วยวิธีการ TOPSIS ร่วมกับ IEW พบว่าปัจจัยหลักที่สำคัญที่สุดคือระยะห่างระหว่างทางออกไปนอกพื้นที่โรงงานกับจุดรวมผล โดยผลการวิเคราะห์จุดรวมผลทั้ง 4 จุดพบว่าจุดรวมผลที่ 2 บริเวณพื้นที่โรงอาหารใกล้บ่อหมยมของกรณีศึกษาเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนการหนีไฟและวิเคราะห์ความเหมาะสมของจุดรวมผลในกรณีศึกษาของอาคาร และ

วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal)

สถานที่อื่น ๆ ได้ต่อไป

สำหรับทิศทางงานวิจัยในอนาคต สามารถขยายงานวิจัยได้ในหลายแนวทาง ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ 1) การนำเครื่องมืออื่น ๆ ทางด้านการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยในการวิเคราะห์ปัจจัยจากวิธีเชิงความคิดเห็น (Subjective Weight Method) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยนี้ว่าเหมือนหรือแตกต่างอย่างไร 2) เป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้กรณีศึกษาของโรงงานอื่น ๆ ซึ่งอาจมีการพิจารณาปัจจัยที่แตกต่างกันจากงานวิจัยนี้ และอาจส่งผลให้เกิดเพลิงไหม้ในอาคารที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลกับข้อมูลของทางเลือกต่าง ๆ ของจุดรวมพลด้วยในทุกปัจจัย ซึ่งจะให้เห็นข้อดีและข้อเสียของแต่ละจุดรวมพล เมื่ออาคารที่เกิดเพลิงไหม้เปลี่ยนแปลงไป และ 3) ในท้ายที่สุด อาจทำการประยุกต์ใช้แนวทางในงานวิจัยนี้ในการวิเคราะห์สถานที่ตั้งของหน่วยงานสนับสนุนด้านการตอบโต้ภัยพิบัติ เช่น สถานที่ตั้งของหน่วยดับเพลิงหรือประยุกต์ใช้วิธีการ IEW และ TOPSIS สำหรับการวิเคราะห์หาทางเลือกในปัญหาด้านอื่น ๆ ร่วมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4887 พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัยเล่ม 7 ศูนย์สั่งการดับเพลิงในอาคาร .2559, 14 ธันวาคม. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 133 ตอนพิเศษ 291ง, 2559
- [2] เอกสารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย การอพยพหนีไฟ สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย, ข้อมูลจาก www.tosh.or.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤษภาคม 2562)
- [3] แผนป้องกันและระงับอัคคีภัย บริษัท ปตท จำกัด มหาชน, ข้อมูลจาก www.eia.onep.go.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กุมภาพันธ์ 2563)

- [4] แผนป้องกันและระงับอัคคีภัย สำนักส่งเสริมและการศึกษาต่อเนื่องมหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์, ข้อมูลจาก www.exten.pn.psu.ac.th/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กุมภาพันธ์ 2563)
- [5] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, คู่มือประชาชนในการเตรียมตัวให้รอดปลอดภัยพิบัติ. บริษัท เวิร์ค พรีนติ้ง จำกัด, นครปฐม, 2560
- [6] Guidance Document – Fire Assembly Points, , ข้อมูลจาก www.kerryfireandrescue.ie/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2563)
- [7] Fire Evacuation Procedures: Choosing an Assembly Point, ข้อมูลจาก www.fireaction.co.uk/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2563)
- [8] Ransikarbum, K., and Mason, S. J., Multiple-objective analysis of integrated relief supply and network restoration in humanitarian logistics operations, International Journal of Production Research, 54(1), 49-68, 2016
- [9] Ransikarbum, K., and Mason, S. J., Goal programming-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration. International Journal of Production Economics, 182, 324-341, 2016
- [10] วัฒนา จันทะโคตร และกสิณ รังสิกรรพุม, การศึกษาประสิทธิภาพการจัดการอัคคีภัยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล, วารสารวิจัย มช., 20(3), กรกฎาคม-กันยายน, 2563
- [11] นิรุทธิ์ วัฒนะแสง และกสิณ รังสิกรรพุม, การเลือกที่ตั้งนิคมอุตสาหกรรมเขตเศรษฐกิจพิเศษชายแดนไทยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ม. อุบลราชธานี, 13, 2563
- [12] Chaiyaphan, C., and Ransikarbum, K., Criteria Analysis of Food Safety using the Analytic Hierarchy Process (AHP)-A Case study of Thailand's Fresh Markets. In E3S Web of

- Conferences (Vol. 141, p. 02001). EDP Sciences, 2019
- [13] Khamhong, P., Yingviwatanapong, C., and Ransikarbum, K., Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP)-based Criteria Analysis for 3D Printer Selection in Additive Manufacturing. In 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C) (pp. 1-5). IEEE, 2019
- [14] กิตติ วิเศษลา และกสิณ รังสิกรรพุม, การวางแผนกระบวนการผลิตชิ้นงานสามมิติด้วยวัสดุ ABS ในเครื่อง FDM ภายใต้การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูลและเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 22(1), มกราคม – เมษายน, 2563
- [15] Ho, W., Integrated Analytic Hierarchy Process and Its Applications- A Literature Review, European Journal of Operational Research, 186, 211 228, 2008
- [16] Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., and Gao, C., Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. Procedia Engineering, 26, 2085-2091, 2011
- [17] Verdu, S., Fifty years of Shannon theory. IEEE Transactions on information theory, 44(6), 2057-2078., 1998
- [18] Hwang, C. L., and Yoon, K., Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making (58-191). Springer, Berlin, Heidelberg, 1981
- [19] National Fire Protection Association, NFPA 101, Life safety code, National Fire Protection Association, Massachusetts, USA., 2009
- [20] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. EIT Standard 3002-51. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2551
- [21] กสิณ รังสิกรรพุม เอกสารประกอบการเรียนวิชาการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2563

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวัฒนา จันทะโคตร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545-2549 มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย พ.ศ. 2551-2556 มหาวิทยาลัยบูรพา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พ.ศ. 2557-2559 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและ การจัดการสิ่งแวดล้อม
ประวัติการวิจัย	กสิณ รังสิกรรพุม, และวัฒนา จันทะโคตร. (2020). แบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์แบบตัวแทนสำหรับวิเคราะห์การวางแผนอพยพจากเหตุ ฉุกเฉินเพลิงไหม้ในกรณีศึกษาอาคารเรียน. Thai Science and Technology Journal, 1871-1888. Chanthakhot, W. and Ransikarbum, K. (2020). การศึกษาประสิทธิภาพ การจัดการอัคคีภัยในประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์แบบจำลอง กรอบข้อมูล. KKU Research Journal (Graduate Studies), 20(3), 9-21. Chanthakhot, W. and Ransikarbum, K. (2020). การวิเคราะห์จุดรวม พลหนีไฟด้วยวิธีค่าน้ำหนักข้อมูลของเอนโทรปีและเทคนิคเรียงลำดับ ตาม อุดมคติ. Thai Industrial Engineering Network Journal. 6(1): 54-64. Chanthakhot, W. and Ransikabum, K. (2019, December). Numerical Simulation for Fire Emergency Planning in a Home Appliances Factory. In 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C) (pp. 1-5). IEEE.
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2549-2559 ตำแหน่ง ผู้ช่วยหัวหน้าส่วนงาน สาธารณูปโภคโรงงาน และสิ่งแวดล้อม บริษัท ชาร์พ แอปพลายแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2560-2561 ตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายความปลอดภัยและนวัตกรรม บริษัท โฟสโค โค้ทเต็ด สตีล (ประเทศไทย) จำกัด
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพมหานคร