



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง การจำลองเพลิงไหม้ และการอพยพหนีไฟ
บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Fire and Evacuation
on Offshore Oil and Gas Processing Platform

นามผู้วิจัย นายวรมัน เกลิมวัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองเพลิงไหม้และการอพยพหนีไฟ
บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Fire and Evacuation on Offshore Oil and Gas Processing Platform

โดย

นายวรมัน เกลิมวัฒน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรมัน เถลิมนันท์ 2557: การจำลองเพลิงไหม้ และการอพยพหนีไฟ บนฐานผลิตน้ำมัน
และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. 117 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้แสดงผลการศึกษาการอพยพหนีไฟของพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่บนฐาน
ผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยอาศัยโปรแกรม
FDS+EVAC (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) การจำลองใช้ข้อมูลของจำนวน
พนักงานที่ปฏิบัติงานในช่วงเวลาปกติ 45 คน โดยอ้างอิงจากความสามารถในการบรรทุกของเรือ
บด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) จำนวน 1 ลำ ที่ถูกติดตั้งไว้ ณ
ฐานผลิตฯ และพนักงานจำนวน 150 คน ที่ปฏิบัติงานในช่วงเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อม
บำรุงประจำปี ฐานผลิตนอกชายฝั่งมีความสูง 5 ชั้น มีขนาด กว้าง 77 เมตร ยาว 94 เมตร และสูง
45 เมตร (เหนือระดับน้ำทะเล) การจำลองแบ่งออกเป็น 5 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้จำนวนผู้อพยพ
ทั้งสิ้น 45 คน เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพของโปรแกรม Fire
Dynamic Simulator with Evacuation (FDS+Evac) กับการจับเวลาจากการซ้อมแผนอพยพ
ประจำปี กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ใช้จำนวนผู้อพยพทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลา
ปฏิบัติงานปกติ ไม่มีเหตุเพลิงไหม้ และมีเพลิงไหม้ โดยมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat
Release Rate) เท่ากับ 1000 kW/m^2 กรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศ
ชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ไม่มีเหตุเพลิงไหม้ และมีเพลิง
ไหม้ กำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการอพยพหนีไฟไปยังจุดปลอดภัยคือ กรณีที่ 1 ใช้เวลาในการ
อพยพ 3 นาที การซ้อมแผนอพยพฉุกเฉินใช้เวลา 5 นาที กรณีที่ 2 ใช้เวลา 4 นาที กรณีที่ 3 ใช้เวลา
4.5 นาที กรณีที่ 4 ใช้เวลา 4.7 นาที และกรณีที่ 5 ใช้เวลา 4.6 นาที จะเห็นได้ว่าในทุกกรณีผู้อพยพ
สามารถเดินไปถึงจุดปลอดภัยได้ไม่เกิน 5 นาที ซึ่งเป็นไปตามกฎกระทรวงแรงงาน ซึ่งกำหนดให้
พนักงานอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในห้านาที

Woraman Chalermwat 2014: A Numerical Simulation of Fire and Evacuation on Offshore Oil and Gas Processing Platform. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Nathasak Boonmee, Ph.D. 117 pages.

This thesis presents a numerical simulation of a fire evacuation at Offshore Oil and Gas Processing Platform by using computer program named FDS+EVAC (Fire Dynamic Simulator and Evacuation). The simulation occupants were stipulated to 45 POB (Personnel On Board) during normal operation with reference to the capacity of TEMPSC (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft) installed on the platform and 150 POB during plant shutdown for annual preventive maintenance. The platform consists of 5 decks where the dimension of 77 meters wide, 94 meters long, and 45 meters high (above sea level). The simulation occupants were performed for 5 cases, namely, 1) 45 POB for comparing the result with annual emergency exercise; 2) and 3) 45 POB (male) during normal operation without and with fire presented respectively; 4) and 5) 150 POB (male) during plant shutdown without and with fire presented respectively. The heat-release-rate of 1000 kW/m^2 was used for case 3 and 5. The muster point for case 1 was located at the TEMPSC while the other cases were located at the linked bridge to the next processing platform.

The simulation results showed the evacuation time for case 1 was 3 minutes, annual emergency exercise was 5 minutes, case 2 was 4 minutes, case 3 was 4.5 minutes, case 4 and case 5 were 4.7 and 4.6 minutes respectively, all of which comply with the regulations of the Ministry of Labour which stipulates that the employee must be evacuated to a safe location within five minutes.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ รุดการ ที่เปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันภัย ภาควิชาพิเศษ ซึ่งให้ความรู้ และพัฒนาศักยภาพในการป้องกันภัยในเชิงวิศวกรรม

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เขียวศิริพิพัฒน์ ในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณอาจารย์โครงการเปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันภัย ภาควิชาพิเศษทุกท่านที่อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการเปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันภัย ภาควิชาพิเศษ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ

ขอบพระคุณ บริษัท เซฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต จำกัด ที่มอบทุนการศึกษาให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอบพระคุณผู้บังคับบัญชา และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่สนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด

ด้วยความดี หรือประโยชน์อันเนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอน สนับสนุน และให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด

วรมัน เกลิมวัฒน์

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	51
ผล	51
วิจารณ์	103
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	107
ภาคผนวก	110
ภาคผนวก ก น้ำมันดิบ (Crude Oil)	111
ภาคผนวก ข จุลรวมพล	113
ภาคผนวก ค การสร้างแบบจำลอง	115
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงข้อมูลสำหรับประเมินอัตราการเผาไหม้ของกองเพลิง	15
2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการลามไฟ (α) โดย NFPA 204	17
3	ความเร็วในการเดินหลบสิ่งกีดขวาง และขนาดร่างกายในโปรแกรม FDS+Evac ขนาดเส้นวงกลมของป่า $d_s = R_d - R_r$	20
4	ขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ของแบบจำลองแต่ละชั้น	36
5	แสดงจำนวนของตัวแทน และตำแหน่งเริ่มต้น	45
6	สรุปผลการจำลองแสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพไปยังจุดรวมพล	102

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	การแบ่งช่วงของลำควัน
2	ลำดับขั้นตอนการลามไฟ (Typical Stages of Fire Growth)
3	ขนาดรูปร่างของมนุษย์แสดงโดยการใช้วงกลม 3 วงวางซ้อนทับกัน
4	แนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง
5	แสดงแนวคิดการนำวงกลม 3 วงมาอธิบายแรงกระทำรอบข้าง
6	แสดงระดับความสูงของชั้นต่างๆ ของฐานผลิตฯ (มุมมองจากทิศตะวันออก)
7	แสดงภาพจำลองของชั้น Cellar Deck และเส้นทางหนีไฟ
8	แสดงภาพจำลองของชั้น Mezzanine Deck และเส้นทางหนีไฟ
9	แสดงหน้าต่างการใช้งาน โปรแกรม Pyrosim
10	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่าย
11	แสดงแบบจำลอง และ โดเมนในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010
12	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Cellar Deck
13	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Mezzanine Deck
14	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Main Deck
15	แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Weather Deck
16	แสดงแบบจำลอง และ โดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Cellar Deck ในแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010
17	แสดงแบบจำลอง และ โดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Mezzanine Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 แสดงแบบจำลอง และ โดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Main Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	43
19 แสดงแบบจำลอง และ โดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Weather Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010	43
20 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของผู้อพยพในแบบจำลอง	44
21 แสดงตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งจตุรรวมพลกรณีฉุกเฉินซึ่งตั้งอยู่ข้าง เรือใบ (Life Boat)	48
22 แสดงตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต	49
23 แสดงการกำหนดตำแหน่งของกองเพลิง (ตำแหน่งสีแดงในภาพ)	50
24 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1	53
25 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1	54
26 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1	55
27 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1	56
28 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @140 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1	57
29 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจตุรรวมพล @184 วินาที ของการ จำลองในกรณีที่ 1	58
30 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจตุรรวมพล	59
31 แสดงเวลาที่พนักงานคนแรกมาถึงจตุรรวมพลหลังจากสัญญาณเตือนภัยดัง	59
32 แสดงการปฏิบัติตัว และการเข้าแถวเพื่อนับจำนวนคน บริเวณจตุรรวมพล	60
33 แสดงถึงการเข้าแถวเพื่อตรวจนับจำนวนพนักงาน	61
34 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2	63
35 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2	64
36 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
37 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @150 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2	66
38 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @240 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2	67
39 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล	68
40 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล	68
41 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	70
42 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	71
43 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	72
44 ภาพที่ 44 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @110 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	73
45 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @180 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	74
46 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @207 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3	75
47 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล	76
48 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล	76
49 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	78
50 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	79
51 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	80
52 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @60 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	81
53 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	82
54 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @100 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	83
55 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @140 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	84
56 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @180 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
57 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @180 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	86
58 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @283 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4	87
59 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล	88
60 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล	88
61 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	90
62 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	91
63 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	92
64 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @60 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	93
65 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	94
66 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @100 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	95
67 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @140 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	96
68 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @180 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	97
69 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @190 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	98
70 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @260 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	99
71 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @280 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5	100
72 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล	101
73 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล	101

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์

ρ	=	ความหนาแน่น (Density)
$\vec{u}$	=	เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector)
Y_i	=	เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ i (Mass Fraction)
$\dot{m}_i'''$	=	อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ i (Mass Production Rate of i species per unit volume)
D_i	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ i (Diffusion Coefficient)
$\vec{f}$	=	แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล
τ	=	แรงเค้นเฉือน (Viscous stress tensor)
h	=	เอนทาลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)
$\vec{q}_r$	=	ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Flux Vector)
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)
T	=	อุณหภูมิ (Temperature)
Z	=	mixture fraction
Y_F	=	เศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง
Y_F^l	=	เศษส่วนโดยมวลของเพลิงเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด
Y_0	=	เศษส่วนของโดยมวลของออกซิเจน
Y_0^∞	=	เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศ
S	=	อัตราส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ (stoichiometric oxygen to fuel mass ratio)
ΔT_0	=	ผลต่างอุณหภูมิของลำควันทันทีความสูง H เหนือกองเพลิงกับสิ่งแวดล้อม
H	=	ความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดาน (ความสูงของเพดาน)
W	=	ระยะระหว่างช่องกานหรือช่องทางเดิน
L	=	ระยะจากแนวกึ่งกลางของกองเพลิง
u_{CJ}	=	ความเร็วของควันทันทีได้เพดาน (m/s)
u_0	=	ความเร็วในแนวตั้งของลำควันทันทีความสูง H

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

h_b	=	ความหนาของคาน
$\dot{Q}(t)$	=	อัตราการปลดปล่อยความร้อน ณ เวลา t (kW/m ²)
A_f	=	พื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเชื้อเพลิง (m ²)
x	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเผาไหม้
ΔH_c	=	ความร้อนสัมบูรณ์ของการเผาไหม้ (MJ/kg)
D	=	รัศมีของกองบ่อกักเชื้อเพลิง
$\dot{Q}$	=	อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (kW)
t	=	เวลาของการเผาไหม้โดยนับตั้งแต่เวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มลุกติดไฟ (sec)
α	=	ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor) (kW/s ²)
t_b	=	ระยะเวลาทั้งหมดของเพลิงไหม้
t_0	=	ระยะเวลาเพื่อการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง
t_{b0}	=	ระยะเวลาที่เชื้อเพลิงเผาไหม้หมดไป
Q_{total}	=	โหลดความร้อนของกองเชื้อเพลิงทั้งหมดภายในห้อง
$\dot{Q}_{max}$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด
$X_i(t)$	=	ตำแหน่งของตัวแทน i ที่เวลา t
$f_i(t)$	=	แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน
m_i	=	มวล
$\xi_i(t)$	=	ค่าความผันผวนของแรง
dX_i / dt	=	ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$

คำอธิบายคำย่อ

FDS	=	Fire Dynamic Simulator
FDS+Evac	=	Fire Dynamics Simulators with Evacuation
POB	=	Personnel On Board
TEMPSC	=	Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft
NIST	=	National Institute of Standards and Technology

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

Pr	=	Prandtl Number
Sc	=	Schmidt Number
FED	=	Fractional Effective Dose



การจำลองเพลิงไหม้ และการอพยพหนีไฟ บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ นอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Fire and Evacuation on Offshore Oil and Gas Processing Platform

คำนำ

การรั่วไหลของไฮโดรคาร์บอนบนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง จนส่งผลให้เกิดเพลิงไฟ และการระเบิดนั้นมีความเป็นไปได้สูง และเมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิต และทรัพย์สิน เช่น เหตุการณ์เพลิงไหม้ฐานผลิตน้ำมันนอกชายฝั่ง ไพเพอร์ อัลฟา (Piper Alpha) เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิตจากจำนวน 167 ราย ทรัพย์สินเสียหายคิดเป็นมูลค่า สามพันสี่ร้อยล้านเหรียญสหรัฐ และเมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ.2553 เกิดเหตุเพลิงไหม้ และระเบิดที่แท่นขุดเจาะนอกชายฝั่ง ดิพวอเตอร์ โฮไรซอน (Deepwater Horizon Drilling Rigs) เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิต 11 ราย บาดเจ็บ 17 ราย หลังจากนั้นแท่นขุดเจาะดังกล่าวได้จมลงสู่ก้นทะเลหลังเพลิงไหม้ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน

ดังนั้นหากสามารถจำลอง และประเมินสภาวะขณะเกิดเพลิงไหม้ พร้อมทั้งนำผลที่ได้จากการจำลองมาใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย รวมทั้งคำนวณระยะเวลา และเส้นทางในการอพยพ จะทำให้สามารถลดผลกระทบ และความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นจากการเกิดเพลิงไหม้ได้

การใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD Fire Model) ซึ่งใช้ในการจำลอง และประเมินสภาวะขณะเกิดเพลิงไหม้ นั้นเป็นที่ยอมรับ และใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่มีความสามารถในการคำนวณเกี่ยวกับพฤติกรรม การเคลื่อนที่ของควัน และอุณหภูมิอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้ ได้แก่ โปรแกรม SOFIE, CFX, PHOENICS, STAR-CD และ FDS (Fire Dynamic Simulator) โปรแกรมที่กล่าวมานั้น FDS (Version 5) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยเฉพาะสำหรับวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัย จาก National Institute of Standard and Technology (NIST) ประเทศ สหรัฐอเมริกา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulators with Evacuation (FDS+Evac) คำนวณระยะเวลาในการอพยพของพนักงานที่ปฏิบัติงาน ณ ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง เนื่องจากการทดลองจริงนั้นทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง มีอันตราย และเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะเวลาการอพยพของพนักงานที่ปฏิบัติงาน ณ ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulators with Evacuation (FDS+Evac)
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของพนักงานเมื่อเกิดการอพยพ
3. เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการกำหนดจุดรวมพลฉุกเฉิน และจุดรวมพลสำรองในกรณีที่ต้องมีการอพยพพนักงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator เพื่อสร้างแบบจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ ณ ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง
2. สามารถเปรียบเทียบระยะเวลาในการอพยพระหว่างการใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator ในการคำนวณระยะเวลาในการอพยพ กับการซ้อมแผนอพยพฉุกเฉิน
3. ทราบระยะเวลาในการอพยพของพนักงานช่วงปฏิบัติงานปกติ และช่วงที่มีการหยุดการผลิตสำหรับการซ่อมบำรุง เพื่อกำหนดจุดรวมพลสำรองให้มีความเหมาะสมกับระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ
4. สามารถนำผลการศึกษาไปอบรมพนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตอบสนองเหตุฉุกเฉิน และการอพยพพนักงาน
5. ทราบเวลาโดยประมาณสำหรับใช้ในการอพยพพนักงาน จำนวน 150 คน ออกจากฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน โดยใช้สะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแผนฉุกเฉินให้มีความเหมาะสม

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator with Evacuation (FDS+Evac) จำลองการเกิดเพลิงไหม้ ลักษณะ Pool Fire โดยมีน้ำมันดิบ (crude oil) เป็นเชื้อเพลิง ที่อุปกรณ์ Inlet Separator บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติออกชายฝั่ง

2. ใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator with Evacuation (FDS+Evac) จำลองการอพยพหนีไฟของพนักงานที่ทำงานอยู่บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติออกชายฝั่ง โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 5 กรณี ประกอบด้วย

2.1 กรณีที่ 1 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด โดยอ้างอิงจากความสามารถในการบรรทุกของเรือบด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) จำนวน 1 ลำ ที่ถูกติดตั้งไว้บนชั้น Cellar Deck ของฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติออกชายฝั่ง โดยกำหนดจุดรวมพลบริเวณเรือบด เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพของโปรแกรม Fire Dynamic Simulator with Evacuation (FDS+Evac) กับการจับเวลาจากการซ้อมแผนอพยพประจำปี

2.2 กรณีที่ 2 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

2.3 กรณีที่ 3 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ มีเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

2.4 กรณีที่ 4 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

2.5 กรณีที่ 5 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ปกติ มีเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

3. ตั้งสมมติฐานในการออกแบบขนาดของกองเพลิง ตำแหน่งจุดเกิดเหตุเชื้อเพลิงที่ในการศึกษานี้เป็นไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันดิบ) ขนาดของกองเพลิงมีขนาดเท่ากับ 4.5 เมตร $\times$ 14 เมตร ซึ่งเป็นขนาดเท่ากับพื้นที่กักน้ำมันในกรณีหกรั่วไหล ที่อยู่ใต้อุปกรณ์รับแรงดัน โดยไม่มีการรั่วไหลเพิ่มเติม



การตรวจเอกสาร

กฎหมาย และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง พ.ศ.2534

ข้อ 9 ให้นายจ้างจัดให้มีทางออกและทางออกสุดท้ายของทุกชั้นอย่างน้อยสองทางที่สามารถอพยพลูกจ้างทั้งหมดออกจากบริเวณที่ทำงานออกสู่ทางออกสุดท้ายภายในเวลาไม่เกินห้านาทีโดยปลอดภัย

พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ.2554
กฎกระทรวงเรื่องข้อกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2555

ข้อ 8 ให้นายจ้างจัดให้มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้นของอาคารอย่างน้อยชั้นละสองเส้นทาง ซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยได้โดยปลอดภัยภายในเวลาไม่เกินห้านาที

เส้นทางหนีไฟจากจุดที่ลูกจ้างทำงานไปสู่จุดที่ปลอดภัยต้องปราศจากสิ่งกีดขวาง

Offshore Risk Assessment (Principles, Modelling and Applications of QRA Studies)

ข้อ 7.4.2 การวิเคราะห์เวลาในการหลบหนี ระบุว่า เวลาในการหลบหนี เป็นช่วงเวลาทั้งหมดที่นับตั้งแต่สัญญาณเตือนภัยดังขึ้น จนกระทั่งพนักงานทุกคนมาถึงจุดรวมพล โดยปกติแล้ว “เวลาในการหลบหนี” จะรวมอยู่ใน “เวลาที่ใช้ในการรวมพล” และจะรวมถึงเวลาที่ใช้ระบุคนที่สูญหายด้วย ซึ่งจะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 15 นาที

การออกแบบทางเดินภายในฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เพื่อความปลอดภัย

กำหนดให้ทางเดินหลัก (Main Walkway) หมายถึงช่องทางเดินซึ่งใช้ในการสัญจรปกติ รวมถึงทางสัญจรสำหรับการอพยพ และตอบสนองเหตุฉุกเฉิน โดยทางเดินหลักสำหรับการสัญจรภายในสถานประกอบการต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 48 นิ้ว (1219 มิลลิเมตร) รวมถึงบันได และทางเดินรอง ซึ่งเชื่อมต่อกับทางเดินหลักต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 36 นิ้ว (914 มิลลิเมตร) ในการออกแบบทางเดินหลัก และทางเดินรองนี้จะต้องพิจารณาถึงการอพยพในกรณีฉุกเฉิน และการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนผู้ป่วยด้วยเช่นกัน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองพลศาสตร์อวกาศ (Fire Dynamics Simulator) หรือ FDS เป็น โปรแกรมทางด้าน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) หรือ CFD สำหรับจำลอง การเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้สมการการ เคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเป็นการไหลที่ความเร็วต่ำ (Low Speed)

ในส่วนของแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Hydrodynamics Model) สำหรับ Fire Dynamics Simulator (FDS) ได้รับการพัฒนาโดย NIST (National Institute of Standards and Technology) โดยแก้สมการอนุรักษ์ซึ่งประกอบไปด้วย

1. Navier-Stokes Equations

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + m_i''' \quad (2)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nabla p - \rho \mathbf{g} = \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (3)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \vec{u} = \frac{dp}{dt} + q''' + \nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_i \rho h_i D_i \nabla Y_i - \nabla \cdot \vec{q}_r \quad (4)$$

โดยที่

ρ	=	ความหนาแน่น (Density)
$\vec{u}$	=	เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector)
Y_i	=	เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ i (Mass Fraction)
$\dot{m}_i'''$	=	อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ i (Mass Production Rate of i species per unit volume)
D_i	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ i (Diffusion Coefficient)
$\vec{f}$	=	แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล
τ	=	แรงเค้นเฉือน (Viscous stress tensor)
h	=	เอนทาลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)
$\vec{q}_r$	=	ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radioactive Heat Flux Vector)
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)
T	=	อุณหภูมิ (Temperature)

การใช้โปรแกรม FDS ต้องกำหนดโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) และค่าขอบเขต (Boundary Conditions) โดยโปรแกรม จะทำการแบ่ง โดเมนออกเป็นปริมาตร (Finite Volume) ขนาดเล็กจำนวนมากเรียกว่า การสร้างกริด (Grid Generation) ในสถานะต่างๆ ภายในปริมาตรที่จำกัด จะถูกคำนวณโดยใช้สมการข้างต้นทั้งนี้จำนวนกริดหรือขนาดกริดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองจะต้องได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงตามทฤษฎี รวมถึงมีระยะเวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ที่เหมาะสม

2. FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ในแบบจำลองเชิงตัวเลขมี 2 ระเบียบวิธีที่นำมาใช้พิจารณาค่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic Viscosity) หรือ μ ได้แก่ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) และระเบียบวิธี Direct Numerical Simulation (DNS) โดยระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับการจำลองเพลิงไหม้สำหรับพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor Fire Model) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Subgrid Scale Model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสถานะการไหลแบบปั่นป่วนในส่วนของการเผาไหม้ เพื่อแก้ปัญหาขนาดกริดที่ไม่สามารถ

ให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ของ Smagorinsky ค่าความหนืดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\mu_{LES} = \rho(C_s \Delta)^2 \left[2(\text{defu}).(\text{defu}) - \frac{2}{3}(\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

โดย C_s เป็นค่าคงที่ของ Smagorinsky, Δ เป็นขนาดของ Filter และพจน์แปลงรูปสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจาย (Dissipation Function) ดังสมการที่ (5) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการกระจายเป็นการถ่ายโอนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนในระเบียบวิธี LES ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สสาร (Material Diffusivity) จะสัมพันธ์กับค่าความหนืดแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) ในการคำนวณจะกำหนดให้ Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) มีค่าคงที่ในการจำลองของ FDS ค่าคงที่ของ Smagorinsky จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 ตลอดทุกกรณี

3. แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction) โดย FDS ใช้แบบจำลองบนสมมติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกัน (Mixed Controlled) เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical Reaction) ได้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคาร (Fires and Flow in Outdoor) FDS สามารถกำหนดให้มีลมเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อให้การจำลองสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น สามารถเขียนได้ตามการเสนอของ Mell และ คณะดังนี้

$$Z = \frac{sY_F - (Y_0 - Y_0^\infty)}{sY_F^I + Y_0^\infty} \quad (6)$$

โดย	Z	คือ mixture fraction
	Y_F	คือ เศษส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง
	Y_F^I	คือ เศษส่วนโดยมวลของเพลิงเชื้อเพลิงจากแหล่งกำเนิด
	Y_0	คือ เศษส่วนของโดยมวลของออกซิเจน
	Y_0^∞	คือ เศษส่วนโดยมวลของออกซิเจนในอากาศ

S คือ อัตราส่วนโดยมวลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์
(stoichiometric oxygen to fuel mass ratio)

4. ตัวแปรไร้หน่วยในการจำลองเพลิงไหม้ (Dimensionless Parameters in Fire Phenomenon) การใช้ขนาดกริด (Δz) ที่เหมาะสมนอกจากจะจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของลำควันได้แล้ว ขนาดของกริดที่เหมาะสมควรบอกถึงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเพลิงไหม้ ซึ่ง Ma and Quintiere (2003) ได้ใช้ FDS (Version 2) จำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool Fire) และการเคลื่อนที่ของลำควันโดยเสนอไร้หน่วย R^* เพื่อเป็นตัวแปรที่รวมขนาดของกริดและอัตราปล่อยพลังงานความร้อนเข้าด้วยกันตามสมการดังนี้

$$R^* = \frac{\Delta z}{\left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a \sqrt{g}} \right)^{2/5}} \quad (7)$$

โดย R^* คือ ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย, Δz คือขนาดของกริด, $\dot{Q}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ρ_a , T_a และ C_p คือ ความหนาแน่น, อุณหภูมิ และความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตรต่อวินาที

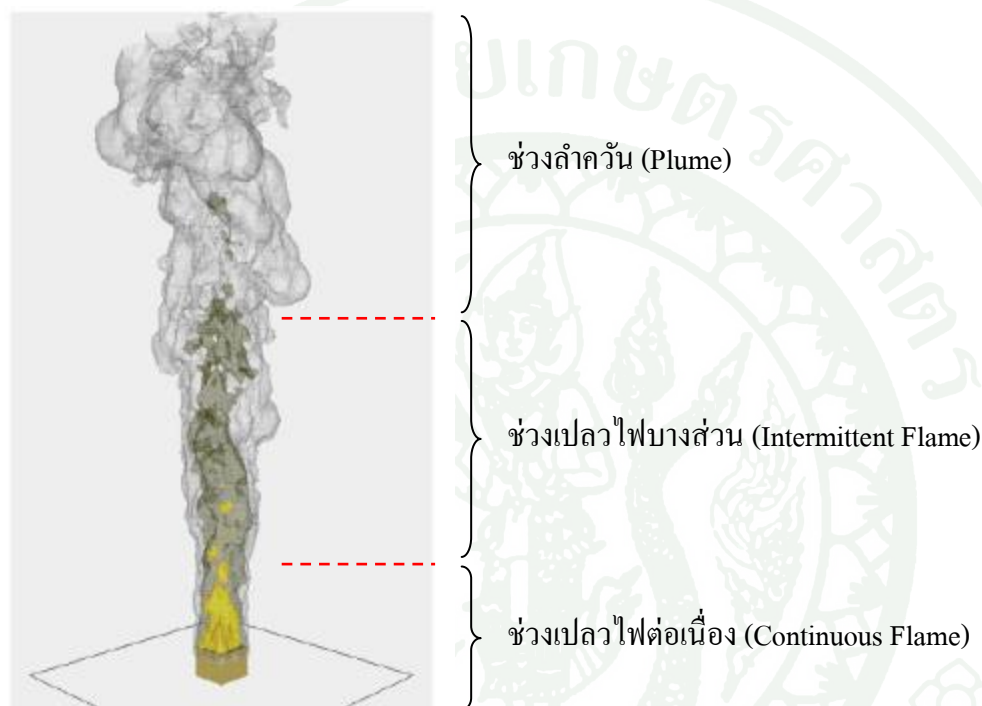
5. การวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณ จากโปรแกรม FDS จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Average Error) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\%Average_Error = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right) \times 100\%}{n} \quad (8)$$

โดย X และ Y เป็นอุณหภูมิของลำควันที่คำนวณได้จากโปรแกรม FDS และสมการของ McCaffrey ตามลำดับจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทุกช่วงลำควันของข้อมูลคำสั่ง

ทฤษฎีของลำควัน (Plume Theory)

ลำควัน (Plume) คือ ลำของควันร้อนซึ่งเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่ง เนื่องจากแรงลอยตัวที่เกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างของควันและอากาศ สำหรับลำควันแบบสมมาตร (Axisymmetric Plume) ดังแสดงในภาพภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแบ่งช่วงของลำควัน

ที่มา: ญัฐศักดิ์ (2553)

โดย Karlsson and Quintiere กล่าวว่า McCaffrey ได้แบ่งช่วงของลำควันเป็น 3 ช่วง คือ

1. **ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame)** คือ ช่วงความสูงจากผิวหน้าของกองเพลิงจนถึงระดับสูงสุดที่มีเปลวไฟปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากเป็นช่วงที่เชื้อเพลิงและอากาศเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จึงมีค่าสูง โดยประมาณจะเท่ากับอุณหภูมิของเปลวไฟ

2. ช่วงเปลวไฟบางส่วน (**Intermittent Flame**) คือ ช่วงความสูงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศเกือบจะสมบูรณ์ ทำให้มองเห็นเปลวไฟเพียงบางส่วนไม่ต่อเนื่อง ความเร็วของการไหลในแนวตั้งของลำควันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ การไหลเติมของอากาศจากภายนอกเข้ามาผสมกับควันทำให้อัตราไหลของควันเพิ่มขึ้นตามความสูง

3. ช่วงลำควัน (**Plume**) คือ ช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเสร็จสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นในช่วงนี้ประกอบไปด้วยควันร้อน และอากาศที่ไหลเติมจากบรรยากาศโดยรอบ ความเร็ว และอุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้ จะแปรผกผันกับความสูง เนื่องจากมีอากาศซึ่งเย็นกว่าโดยรอบไหลเข้ามาผสมเจือจางทำให้ควันเย็นลง

สมการการไหลของควันใต้เพดานที่มีคานจากการทดลอง (**Confined ceiling jet empirical equations**)

Delichatsios ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดานระหว่างคานที่ระยะ L จากกองเพลิงดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะระหว่างคาน (W) ต่อความสูงห้อง (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 1.2 ($0.4 < W/H < 1.2$) อุณหภูมิของควันไหลใต้เพดานสามารถคำนวณได้โดย

$$\frac{\Delta T_{CJ}}{\Delta T_0} = 0.37 \left(\frac{W}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \exp \left[-0.16 \left(\frac{L}{H} \right) \left(\frac{W}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (9)$$

โดย $\Delta T_{CJ} = T_{CJ} - T_\infty$ คือ ผลต่างอุณหภูมิของควันไหลใต้เพดานกับแวดล้อม
 ΔT_0 คือ ผลต่างอุณหภูมิของลำควันที่ความสูง H เหนือกองเพลิงกับสิ่งแวดล้อม

H คือ ความสูงจากผิวบนของเชื้อเพลิงถึงเพดาน (ความสูงของเพดาน)

W คือ ระยะระหว่างช่องคานหรือช่องทางเดิน

L คือ ระยะจากแนวกึ่งกลางของกองเพลิง

ในส่วนความเร็วในการไหลใต้เพดาน Delichatsios กำหนดความเร็วบนสมมติฐานว่าการไหลของของควันระหว่างช่องคานไม่เกิดการไหลสั้นไปสู่ช่องระหว่างคานข้างเคียง เนื่องจาก

พื้นที่หน้าตัดระหว่างคานซึ่งตั้งเกี่ยวกับการไหลมีขนาดคงที่พร้อมกันนี้อัตราการไหลโดยมวลของควันมีค่าคงที่ ดังนั้นความเร็วในการไหลของควันจึงมีขนาดคงที่ไม่ขึ้นกับระยะ L โดย

$$\frac{u_{CJ}}{u_0} = 0.27 \left(\frac{H}{W} \right)^{1/3} \quad (10)$$

โดย u_{CJ} คือ ความเร็วของควันไหลใต้เพดาน (m/s)
 u_0 คือ ความเร็วในแนวดิ่งของลำควันที่ความสูง H

อุณหภูมิขงลำควัน ΔT_0 ในสมการที่ (9) และความเร็วของลำควัน u_0 ในสมการที่ (10) ใช้ได้เมื่อ $L > W/2$ ในกรณีที่ $L < W/2$ (ก่อนที่ควันจะไหลกระทบกับคาน) หรือระยะระหว่างคานมีค่ามาก ($W/H > 1.2$) Delichatsios เสนอว่าพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานจะมีลักษณะเหมือนกับการไหลของควันใต้เพดานอย่างอิสระ

ถ้าคานมีความหนา (h_b) ไม่มาก ควันที่ไหลระหว่างช่องคานจะมีโอกาสไหลล้นไปสู่ช่องระหว่างคานที่อยู่ติดกันทำให้อุณหภูมิที่คำนวณจากสมการที่ (9) มีค่าคลาดเคลื่อน เพื่อป้องกันการไหลล้นของควันระหว่างช่องคาน Evans เสนอว่าคานควรมีความหนาอย่างน้อยเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$\frac{h_b}{H} > 0.126 \left(\frac{H}{W} \right)^{1/3} \quad (11)$$

โดย h_b คือ ความหนาของคาน

กองเพลิงจากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Pool Fire)

อันตรายของการแผ่รังสีความร้อนจากกองเพลิงที่เกิดจากการรั่วไหลของสารไฮโดรคาร์บอน นั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะหลายๆ ประการ เช่น องค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอน ขนาด และ รูปร่างของเพลิง รวมทั้งระยะเวลาที่เกิดเพลิงไหม้

การประมาณลักษณะการแผ่รังสีความร้อนรอบกองเพลิงมีขั้นตอนหลักๆ ในการพิจารณา 3 ประการ คือ

1. ลักษณะทางเรขาคณิตของกองเพลิง ซึ่งก็คือ การกำหนดอัตราการเผาไหม้ และขนาดของเพลิง
2. คุณลักษณะของการแผ่รังสีความร้อนของกองเพลิง คือ การกำหนดการส่องสว่างเฉลี่ยของเปลวไฟ ความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากกองเพลิงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของเชื้อเพลิง ขนาดของเพลิง อุณหภูมิของเปลวเพลิง และองค์ประกอบของเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดหลักๆ ของการแผ่รังสีของเพลิงซึ่งเกิดจากไฮโดรคาร์บอนคือไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และเขม่า
3. การคำนวณความเข้มในการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งที่ระบุ ซึ่งจะสามารถคำนวณได้เมื่อทราบลักษณะเรขาคณิตของกองเพลิง คุณลักษณะการแผ่รังสี ตำแหน่งที่รับรังสี สำหรับระยะที่ห่างมาก ๆ (มากกว่าร้อยเมตร) ต้องคำนึงถึงการดูดซับรังสีความร้อนในบรรยากาศด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทาง อุณหภูมิของเปลวเพลิง และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศด้วย

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลสำหรับประเมินอัตราการเผาไหม้ของกองเพลิง

เชื้อเพลิง	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ΔH_c (MJ/kg)	$\dot{m}_\infty''$ (kg/m ² s)	$k\beta$ (m ⁻¹)
น้ำมันดิบ	830-880	42.5-42.7	0.022-0.045	2.8

ที่มา: DiNenno et al. (1995)

อัตราการปลดปล่อยความร้อน หาได้จากสมการ

$$\dot{Q}(t) = A_f \dot{m}'' \chi \Delta H_c \quad (12)$$

โดย $\dot{Q}(t)$ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน ณ เวลา t (kW/m²)
 A_f คือ พื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเชื้อเพลิง (m²)
 χ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเผาไหม้
 ΔH_c คือ ความร้อนสัมบูรณ์ของการเผาไหม้ (MJ/kg)

$$\dot{m}'' = \dot{m}_\infty'' (1 - e^{-k\beta D}) \quad (13)$$

โดย D คือ รัศมีของกองบ่อถักเชื้อเพลิง

การแบ่งระยะเวลาการเผาไหม้ (Typical Stages of Fire Growth)

การแบ่งระยะเวลาของการเผาไหม้ กรณีที่ไม่มีการควบคุมไฟ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง
คือ

1. ระยะลามไฟ (Growth Phase) ในระยะนี้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากออกซิเจนภายในห้องมีอยู่จำนวนมาก ดังนั้นอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อเพลิง (Fuel-limited) อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วเป็นทวิคูณกับเวลา จากการทดลองโดยการเผาเชื้อเพลิงจริง พบว่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะแปรผันโดยตรงกับเวลานับตั้งแต่เชื้อเพลิงจุดติดไฟ ยกกำลังสอง ซึ่งเรียกว่า t-square fire โดย

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad (14)$$

โดยที่ $\dot{Q}$	คือ	อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (kW)
t	คือ	เวลาของการเผาไหม้โดยนับตั้งแต่เวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มลุกติดไฟ (sec)
α	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟ (Growth Factor) (kW/s ²)

สัมประสิทธิ์การลามไฟเป็นค่าคงที่ ที่ได้จากการทดลอง โดย

$$\alpha = 1055 / (t_{1050})^2 \quad (15)$$

t_{1050} คือ เวลาที่เชื้อเพลิงใช้นับตั้งแต่จุดติดไฟจนกระทั่งการเผาไหม้สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้เท่ากับ 1,055 kW (1,000 Btu/s) เชื้อเพลิงที่มีสัมประสิทธิ์การลามไฟสูง จะมีอัตราการลามไฟสูง หลังจากการจุดติดไฟการเผาไหม้จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (ณัฐศักดิ์, 2007)

NFPA 204 (Standard for Heat and Smoke Venting) (NFPA 2002) ได้จัดลำดับของอัตราการลามไฟ (Growth Rate) ตามค่าสัมประสิทธิ์การลามไฟออกเป็น 4 ระดับ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการลามไฟ (α) โดย NFPA 204

Growth Rate	α (kW/s ²)	t_g (s)
Slow	0.003	600
Medium	0.012	300
Fast	0.047	150
Ultrafast	0.188	75

ที่มา: ฌูสคักดี (2553)

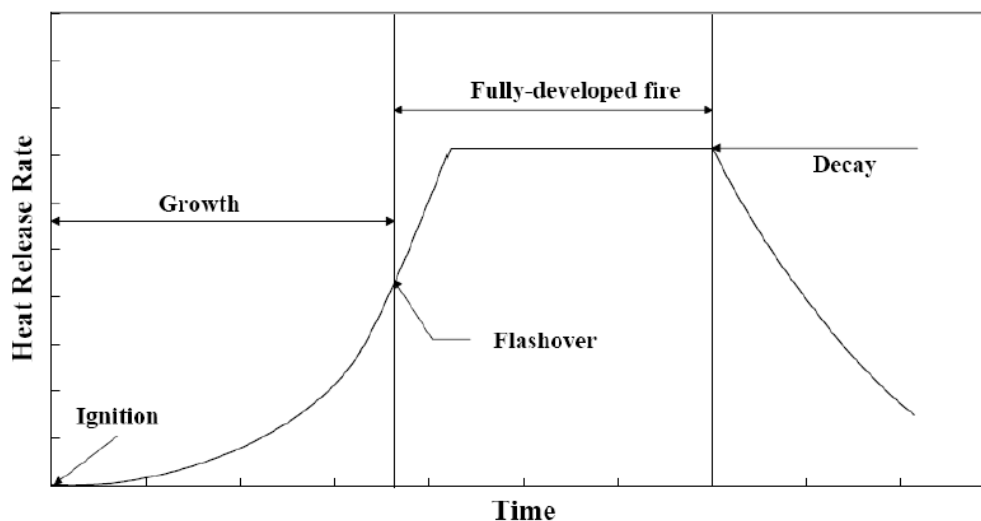
2. ระยะเผาไหม้ในสภาวะคงตัว (Steady Phase) หรือ ระยะเพลิงพัฒนาโดยสมบูรณ์ (Steady State Burning Phase) ในระยะนี้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงนี้จะมีค่าเท่ากับ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนค่าสูงสุด (Maximum Heat Release Rate, $\dot{Q}_{max}$) อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงนี้จะถูกจำกัดโดยปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ภายในห้อง เราสามารถประมาณค่า $\dot{Q}_{max}$ ได้โดยการคำนวณจากค่าอัตราการเผาไหม้สูงสุด (ฌูสคักดี, 2007)

3. ระยะมอดดับ (Decay Phase) โดยทั่วไปแล้วการกำหนดอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพื่อการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตเป็นหลักจะกำหนดเฉพาะในช่วงเวลาสั้นๆ เพียง 10 หรือ 30 นาทีแรกของการเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เพราะว่าในทางปฏิบัติแล้วผู้ที่อยู่ในบริเวณเกิดเพลิงไหม้ควรได้รับการช่วยเหลือให้หนีออกจากบริเวณเหล่านั้นภายในระยะการหนีไฟที่กำหนด ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานให้คงตัวอยู่ในระยะการเผาไหม้ในสภาวะคงตัวจนจบการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราทราบจำนวนเชื้อเพลิงที่มีอยู่ภายในห้องที่เกิดเพลิงไหม้ เราสามารถประมาณระยะเวลาทั้งหมดที่เพลิงจะลุกไหม้ภายในห้องได้โดย (ฌูสคักดี, 2007)

$$t_b = t_0 + t_{bo} \approx \frac{Q_{total}}{\dot{Q}_{max}} \quad (16)$$

โดยที่ t_b คือ ระยะเวลาทั้งหมดของเพลิงไหม้
 t_0 คือ ระยะเวลาเพื่อการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง

- t_{bo} คือ ระยะเวลาที่เชื้อเพลิงเผาไหม้หมดไป
- Q_{total} คือ โหลดความร้อนของกองเชื้อเพลิงทั้งหมดภายในห้อง
- $\dot{Q}_{max}$ คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด



ภาพที่ 2 ลำดับขั้นตอนการลามไฟ (Typical Stages of Fire Growth)

ที่มา: ฌูสคักดี (2553)

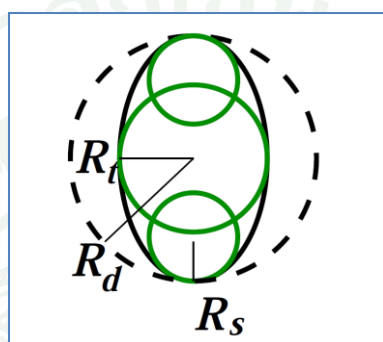
ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการอพยพภายในโปรแกรม FDS+Evac

โปรแกรม FDS+Evac จะแสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพแต่ละคน โดยตัวแทน (agent) ในโปรแกรม FDS+Evac แต่ละตัวแทนมีคุณลักษณะเฉพาะตัว และแผนการในการหลบหนีของแต่ละตัวแทน

การเคลื่อนที่ของตัวแทนจะถูกจำลองการเคลื่อนที่ในระนาบ 2 มิติ ซึ่งแสดงถึงชั้นภายในอาคาร สมการอัลกอริทึมพื้นฐานในการคำนวณการเคลื่อนที่ที่จะถูกนำมาใช้ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ของตัวแทนแต่ละตัวแทนในระนาบ 2 มิติ (พื้นที่ และเวลา) แบบต่อเนื่อง โดย FDS+Evac จะทำการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวแทนแต่ละตัวแทนบนระนาบที่กำหนด

แรงกระทำต่อตัวแทนจะประกอบด้วยแรงกระทำทางกายภาพ และแรงกระทำทางด้านจิตวิทยาซึ่งมีผลมาจากสิ่งแวดล้อม และตัวแทนอื่นๆ ที่อยู่โดยรอบ

ขนาดของมนุษย์ในโปรแกรมจะถูกแทนโดยวงกลม 3 วงแสดงในภาพที่ 3 เช่นเดียวกับในโปรแกรม Simulex และ MassEgress ขนาดร่างกาย และความเร็วในการเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางของแต่ละกลุ่มได้แสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 ขนาดรูปร่างของมนุษย์แสดงโดยการใช้วงกลม 3 วงวางซ้อนทับกัน

ที่มา: Thunderhead Engineering (2012)

ในกรณีที่ต้องการความเร็วที่ต่ำลงจากค่าที่ตั้งไว้ สามารถนำตัวคูณมาปรับลดความเร็วที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม โดยการป้อนค่าตัวคูณปรับลดลงในชุดคำสั่งการอพยพ

ตารางที่ 3 ความเร็วในการเดินหลบสิ่งกีดขวาง และขนาดร่างกายในโปรแกรม FDS+Evac

ขนาดเส้นวงกลมของป่า $d_s = R_d - R_s$

Body Type	R_d (m)	R_t / R_d (-)	R_s / R_d (-)	d_s / R_d (-)	Speed (m/s)
Adult	0.255 ± 0.035	0.5882	0.3725	0.6275	1.25 ± 0.30
Male	0.270 ± 0.020	0.5926	0.3704	0.6296	1.35 ± 0.20
Female	0.240 ± 0.020	0.5833	0.3750	0.6250	1.15 ± 0.20
Child	0.210 ± 0.015	0.5714	0.3333	0.6667	0.90 ± 0.30
Elderly	0.250 ± 0.020	0.6000	0.6400	0.6400	0.80 ± 0.30

ที่มา: Thunderhead Engineering (2012)

แบบจำลองการเคลื่อนที่ภายในโปรแกรม

แบบจำลองของ Helbing *et al.* (2000) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประกอบชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในโปรแกรม FDS+Evac ซึ่งเป็นที่รู้จักในเรื่อง แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) โดยมีพื้นฐานจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เปรียบตัวแทนเหมือนวัตถุมาทำปฏิกิริยากันแสดงโดยสมการการเคลื่อนที่

$$m_i \frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \quad (17)$$

โดยที่

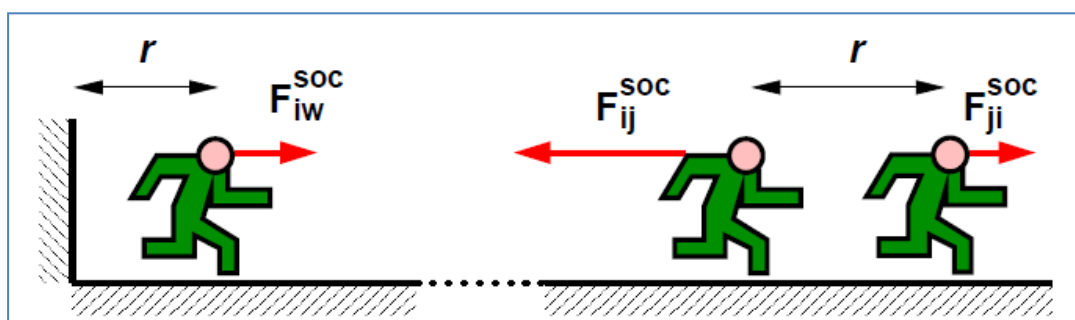
$X_i(t)$ = ตำแหน่งของตัวแทน i ที่เวลา t

$f_i(t)$ = แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน

m_i = มวล

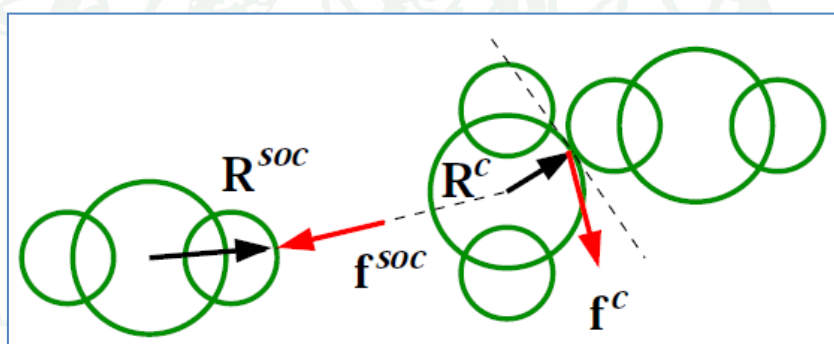
$\xi_i(t)$ = ค่าความผันผวนของแรง

dX_i / dt = ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$



ภาพที่ 4 แนวคิดของแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Thunderhead Engineering (2012)



ภาพที่ 5 แสดงแนวคิดการนำวงกลม 3 วงมาอธิบายแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Thunderhead Engineering (2012)

การใช้งานโปรแกรม และข้อจำกัดการใช้งาน

แม้ว่า FDS+Evac สามารถแก้ปัญหาได้ในหลายๆ สถานการณ์สมมติ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการในการคำนวณสมการอัลกอริทึม ดังนี้

เรขาคณิต (Geometry)

ประสิทธิภาพของ FDS ขึ้นอยู่กับการกำหนดขนาดกริดที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดในบางสถานการณ์ โดยที่คุณลักษณะของเรขาคณิตนั้นไม่รองรับโครงข่าย (mesh) ที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และส่วนสำคัญของการคำนวณโดยใช้ Poisson Solver Based บน Fast Fourier Transformers (FFT) ในทิศทาง y และ z มิติที่ 2 และ 3 ของโครงข่าย (mesh) ควรจะมาจากรูปแบบ $2^l, 3^m, 5^n$ โดยที่ l, m, n เป็นจำนวนเต็มยกกำลัง

ความสามารถในการมองเห็นลดลง (Reduced Visibility)

ความหนาแน่นของควันที่คำนวณโดย FDS จะส่งผลให้ความเร็วในการเดินของตัวแทนลดลง โดยเป็นผลลัพธ์จากการทดลองของ Frantzich และ Nilsson ซึ่งใช้ความหนาแน่นของควันมากกว่าการทดลองของ Jin จากผลการทดลองดังกล่าวถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และทำให้เกิดการทดลองใหม่ๆ ขึ้น ในความเป็นจริงการรับรู้ความหนาแน่นของควันสำหรับแต่ละบุคคลนั้นไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมจะเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับตัวแทนแต่ละบุคคล ค่าที่ตั้งในแบบจำลองสำหรับบันไดจะไม่รวมทางเลือกสำหรับตัวแทนในการหันหลังกลับเมื่อค่าความหนาแน่นของควันเพิ่มมากขึ้น

การหมดสติ (Incapacitation)

โปรแกรม FDS มีการคำนวณ Fractional Effective Dose (FED) ซึ่งเป็นแนวคิดของ Purser มาใช้ ตัวโปรแกรมนั้นสามารถจำลองการแพร่กระจายของควัน และทำนายระดับของออกซิเจน (O_2) ได้เป็นอย่างดี แต่ทำนายความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ไม่ดีนัก ในส่วนผสมของอากาศมาตรฐานนั้น ผู้ใช้งานโปรแกรมต้องเป็นผู้กำหนดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

การตัดสินใจเลือกเส้นทางหนีไฟ (Exit Route Selection)

สมการอัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณการเลือกเส้นทางหนีไฟนั้นเป็นแบบง่าย ไม่ได้คำนึงถึงแรงกระทำภายนอก เช่น การเดินไปด้วยกันเป็นกลุ่ม ซึ่งผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถกำหนดประตูทางออกได้

ระยะเวลาในการตรวจจับ และตอบสนอง (Detection and Reaction Time)

เวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการอพยพขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าระยะเวลาตรวจจับ และระยะเวลาตอบสนองโดยผู้ใช้งาน โปรแกรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Peter and Eric (1995) ทำการศึกษาการอพยพคนในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้โปรแกรม Simulex ซึ่งเป็นโปรแกรมแรกที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเดิน และระยะห่างระหว่างบุคคล โดยบุคคลที่กีดขวางจะถูกนำไปพิจารณาเพื่อใช้ในการเลือกเส้นทางหนีไฟ ตัวแทนของคนในแบบจำลองถูกแทนด้วยวงกลม 3 วงซ้อนกัน จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนจะอพยพออกทางออกที่ใกล้สุด โดยป้ายสัญลักษณ์ทางหนีไฟ และความคุ้นเคยกับเส้นทางหนีไฟในอาคารไม่มีผลต่อการเลือกเส้นทางหนีไฟ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะถูกนำไปพัฒนาสำหรับโปรแกรมรุ่นต่อไป

Gwynne *et al.* (2000) ทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพในขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม Exodus รุ่น 3.0 ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน ที่ใช้ประกอบการจำลองการอพยพ คือ ผู้ใช้อาคาร ลักษณะอาคาร การเคลื่อนที่ ก๊าซพิษ และพฤติกรรม งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเลือกทางออกที่ดีที่สุดบนพื้นฐานการพิจารณาลักษณะรูปร่างอาคาร ความหนาแน่นของควันและเพศ โดยผลกระทบเนื่องมาจากควัน ความร้อนและก๊าซพิษ ความหนาแน่นของควันจะมีผลกระทบต่อความเร็วในการอพยพซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการทดลองของจิน (Jin) และค่าสถานะที่สามารถทนได้มาจากการคำนวณสัดส่วนของก๊าซในอากาศ

Timo and Simo (2007) ทำการทดสอบชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ของโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้แบบจำลองที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ซึ่งตัวแทนถูกกำหนดค่าความเร็วที่ใช้ในการเดิน กำหนดตำแหน่งทางออก และการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยประมวลผลเฉพาะส่วนของการอพยพเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ประมวลผลพร้อมกับการเผาไหม้ การทดสอบผลกระทบเนื่องมาจากควันจะถูกวิเคราะห์แยกต่างหาก รายการการทดสอบโปรแกรม และผลการทดสอบ มีดังนี้

การทดสอบที่ 1 ทดสอบความเร็วในการเดินในทางเดินยาว (Corridor) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 40 เมตร ในเวลา 40 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 2 ทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเดินขึ้นบันได (Stair) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 3 ทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเดินลงบันได (Stair) โดยใช้ตัวแทน 1 ตัวแทนกำหนดความเร็วที่ 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ระยะทาง 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 4 ทดสอบอัตราการไหลที่ทางออก (Exit Flow Rate) โดยใช้ตัวแทน 100 ตัวแทนกำหนดให้อยู่ในห้อง ประตูทางออกมีความกว้าง 1 เมตร อัตราการไหลที่ได้ควรจะไม่เกิน 1.33 คนต่อวินาที โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 5 ทดสอบเวลาในการตอบสนอง (Response Time) โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 6 ทดสอบการผ่านบริเวณที่เป็นมุม (Rounding Corner) ตัวแทนสามารถที่เข้าใกล้บริเวณที่เป็นมุมโดยไม่ชนมุมดังกล่าว

การทดสอบที่ 7 การกระจายตัวของประชากร (Assignment of Population Demographics Parameter) เป็นไปตามค่าที่กำหนดในโปรแกรม โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 8 การคำนวณ FED (Fractional Effective Dose) ทดสอบโดยจำลองห้องที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และกำหนดตัวแทน 1 ตัวแทน และแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิงอยู่กลางห้อง กำหนดระยะเวลาในการตรวจจับในช่วงกว้างๆ พร้อมกันกำหนดอุปกรณ์ตรวจวัดความหนาแน่นของก๊าซในตำแหน่งเดียวกันกับตัวแทน ผลการทดสอบโปรแกรมนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ผลที่ได้ตรงกัน โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 9 ทดสอบการเดินหลบสิ่งกีดขวางกับความหนาแน่นของควัน ควันทำให้ความเร็วในการเดินลดลงเนื่องจากควันทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง โดยการจำลอง

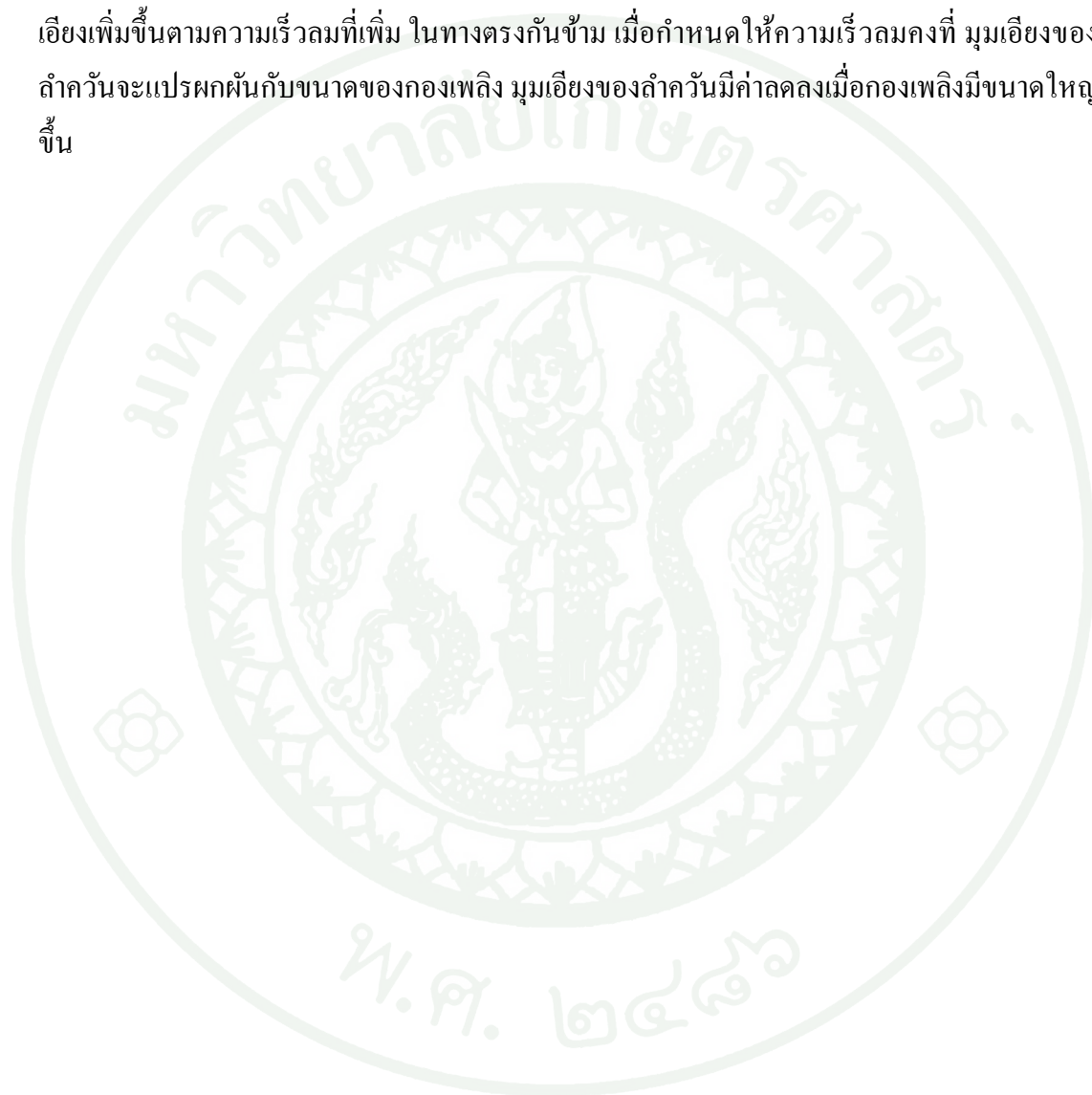
ในทางเดินยาว ผลที่ได้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี โปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้ และผ่านการทดสอบ

กิตติสันต์ (2550) ทำการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังเก็บน้ำมันดีเซลขนาดใหญ่ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamic Simulator (FDS) การจำลองกำหนดให้เกิดเพลิงไหม้ที่ด้านบนของถังเก็บน้ำมันซึ่งมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง 2.5 จิกะวัตต์ ใน 3 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ไม่มีลม สถานการณ์ที่มีลมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปานกลาง 2 เมตร/วินาที และสถานการณ์ที่มีลมเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วมากที่สุด 12 เมตรต่อวินาที ผลการจำลองในสถานการณ์ที่มีลมพัดผ่านถังน้ำมัน พบว่าควันแพร่กระจายไปตามทิศทางลมในระยะทางที่มากขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ในสถานการณ์ที่มีลมเคลื่อนที่ผ่านถังน้ำมันด้วยความเร็วมากที่สุด 12 เมตร/วินาที ควันที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลมากกว่า 150 เมตร ในขณะที่สารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเขม่าในระดับความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลประมาณ 60 เมตร จากกองเพลิง

วิวรรณ (2552) ทำการศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข พบว่าเมื่อเวลารอคอย 4 นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเท่ากับ 6 นาที (มีระบบระบายควัน) และ 8.9 นาที (ไม่มีระบบระบายควัน) เมื่อเวลารอคอย 16 นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเท่ากับ 9.4 นาที (มีระบบระบายควัน) และ 8.8 นาที (ไม่มีระบบระบายควัน) และเมื่อเวลารอคอย 30 นาที เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเท่ากับ 12.5 นาที (มีระบบระบายควัน) และ 11.3 นาที (ไม่มีระบบระบายควัน) ตามลำดับ การจำลองทั้งในกรณีที่มี และไม่มีระบบระบายควันในทุกเวลารอคอย แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของควัน และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ภายในอาคารอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการอพยพ ทำให้คนสามารถอพยพออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามในการจำลองเมื่อเวลารอคอยเท่ากับ 16 และ 30 นาที ทั้งในกรณีที่มี และไม่มีระบบระบายควัน พบว่าเวลาที่ทัศนวิสัยภายในอาคารลดต่ำลงจนไม่สามารถมองเห็นได้หลังจาก 6 นาที ซึ่งเร็วกว่าเวลาที่คนทั้งหมดจะอพยพออกจากอาคาร ผลการจำลองในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่า คนบางส่วนอาจไม่สามารถหนีไฟออกจากอาคารได้เนื่องจากมองไม่เห็นทางหนีไฟ ถ้าเกิดเหตุเพลิงไหม้จริง

สุรัชย์ (2553) ได้ทำการจำลองลำควันเฉียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข พบว่าการศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการคำนวณได้ดำเนินการโดยเปรียบเทียบผลการจำลองด้วย

แบบจำลอง FDS ที่ขนาดกริด 0.05 0.025 และ 0.0125 เมตรกับผลการทดลองของ Oka และ คณะ (2008) การศึกษาแสดงให้เห็นว่า สำหรับกริดขนาด 0.0125 เมตรซึ่งเป็นกริดที่มีความละเอียดสูงสุด โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลองมีค่าไม่เกิน 71.8% ในส่วนของผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของกองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้ขนาดของกองเพลิงคงที่ มุมเอียงของลำควันจะแปรผันตามความเร็วลม มุมเอียงเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่ม ในทางตรงกันข้าม เมื่อกำหนดให้ความเร็วลมคงที่ มุมเอียงของลำควันจะแปรผกผันกับขนาดของกองเพลิง มุมเอียงของลำควันมีค่าลดลงเมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เสริม

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel® Core™ i7-740QM Processor (1.73GHz, 4Core/8Threads) ความจุ Hard Disk 500 GB ความเร็ว Hard Disk 7200RPM หน่วยความจำ (RAM) 4 GB

1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Intel® Core 2 Duo T9600 Processor (2.83GHz, 1066MHz FSB, 6MB Cache) ความจุ Hard Disk 160 GB ความเร็ว Hard Disk 7200RPM หน่วยความจำ (RAM) 2 GB

1.3 เครื่องพิมพ์ Laser Printer Fuji Xerox ApeosPort-III C3300

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.1 โปรแกรม AutoCAD 2010 เพื่อใช้ในการเขียน และอ่านแบบสองมิติ

2.2 โปรแกรม Pyrosim ของบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ และแปลงแบบจำลองสามมิติให้เป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .fds เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลในโปรแกรม FDS+Evac

2.3 โปรแกรมจำลองการเผาไหม้พร้อมการอพยพ Fire Dynamic Simulator with Evacuation : FDS+Evac ของ VTT Technical Research Centre of Finland โดยนำไฟล์ที่ได้จากการแปลงเป็น .fds แล้ว มาป้อนคำสั่งกำหนดค่าการอพยพ และค่าอื่นๆ ที่จำเป็นในการประมวลผล เพื่อหาพฤติกรรมและการกระจายตัวของลำควัน หลังจากนั้นนำไฟล์ที่ได้ไปประมวลผลโดย Command DOS Prompt นำผลลัพธ์ที่ได้ใส่ในชุดคำสั่ง Smokeview ในการแสดงแบบจำลองสามมิติ

2.4 โปรแกรม Microsoft Office 2010 สำหรับจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

3. ระบบปฏิบัติการ

3.1 Microsoft Window 7 (64 bit)

วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งฐานผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง ที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ มีทั้งหมด 6 ชั้น ประกอบด้วย

1.1 ชั้น Weather Deck

1.2 ชั้น Main Deck (สูงจากระดับน้ำทะเล 31.5 เมตร)

1.3 ชั้น Mezzanine Deck (สูงจากระดับน้ำทะเล 23.5 เมตร)

1.4 ชั้น Cellar Deck (สูงจากระดับน้ำทะเล 17.5 เมตร)

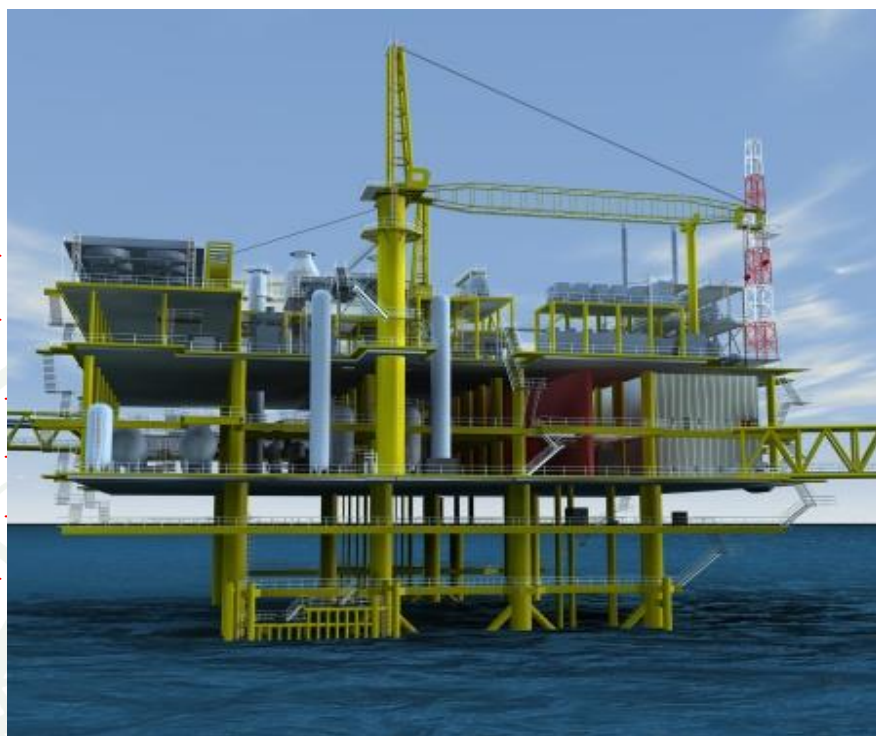
1.5 ชั้น Sub-Cellar Deck (สูงจากระดับน้ำทะเล 12 เมตร)

1.6 ชั้น Sea Deck (สูงจากระดับน้ำทะเล 5.05 เมตร)

ระดับน้ำทะเลที่ระบุข้างต้น เป็นระดับน้ำทะเลที่อ้างอิงจากระดับน้ำทะเลต่ำสุด
(Lowest Astronomical Tide : LAT)

โดยทางเดินดิน และบันไดมีความกว้าง 1.2 เมตร

Weather Deck —
Main Deck —
Mezzanine Deck —
Cellar Deck —
Sub-Cellar Deck —
Sea Deck —



ภาพที่ 6 แสดงระดับความสูงของชั้นต่างๆ ของฐานผลิตฯ (มุมมองจากทิศตะวันออก)

ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง มีหน้าที่ในการรับน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติจากแท่นหลุมผลิตตามท่อใต้ทะเล หลังจากนั้นจะทำการแยกคอนเดนเสท (Condensate), ก๊าซธรรมชาติ, น้ำ และทราย ออกจากกัน โดยมีอุปกรณ์หลักในการผลิต ดังนี้

1. Receiving and Inlet Separation of incoming gas/condensate
2. Production Compressor
3. Gas Dehydration
4. Hydrocarbon Dewpoint Control
5. Mercury Removal

6. Export Pipeline Compression

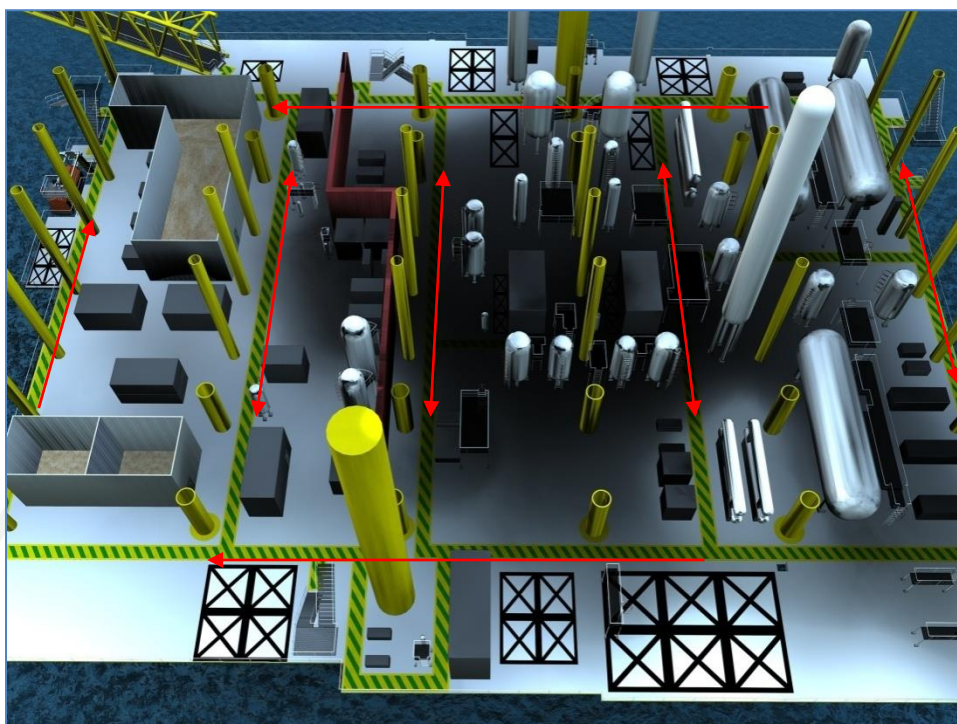
7. Liquid Separation

8. Condensate Stabilization

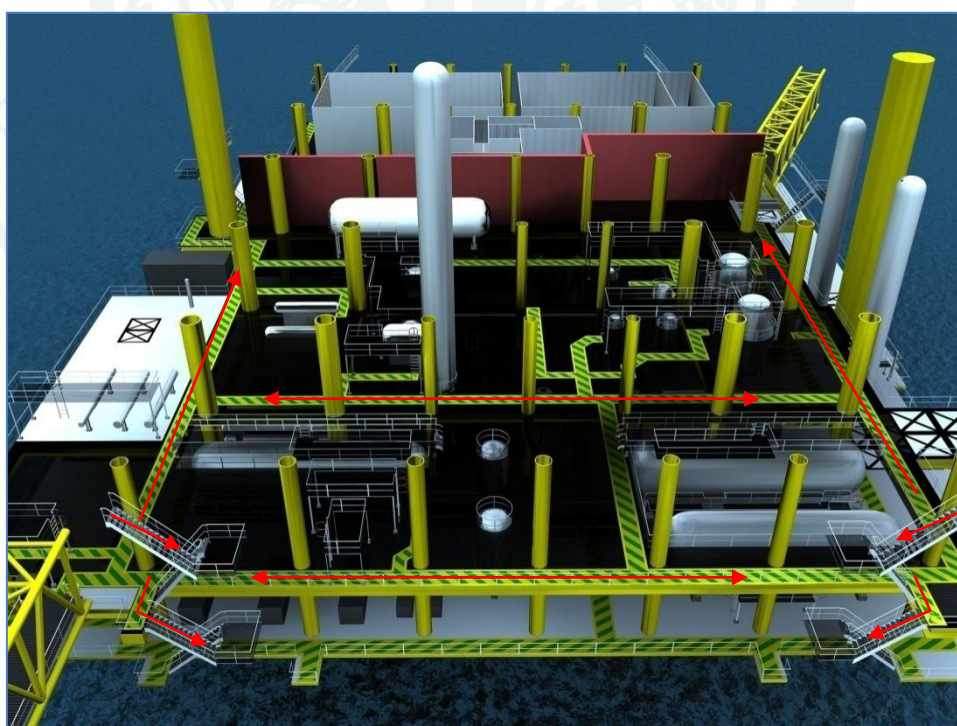
9. De-sanding

10. Vapour Recovery

สำหรับอุปกรณ์ที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ คือ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck Inlet Separator มีหน้าที่ในการรับวัตถุดิบจากแท่นหลุมผลิต แล้วทำการแยกคอนเดนเสท (Condensate), ก๊าซธรรมชาติ, น้ำ และทราย ออกจากกัน ซึ่งก๊าซจะถูกส่งต่อไปยัง compressor หรือส่งไป flare header ส่วนคอนเดนเสท (condensate) จะถูกส่งต่อไปยัง Condensate Surge Drum หรือ Three Phase Separator และน้ำจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องบำบัด (Water Treatment Unit) ก่อนที่จะส่งไปอัดกลับลงหลุมผลิตที่ตายแล้ว



ภาพที่ 7 แสดงภาพจำลองของชั้น Cellar Deck และเส้นทางหนีไฟ



ภาพที่ 8 แสดงภาพจำลองของชั้น Mezzanine Deck และเส้นทางหนีไฟ

2. ศึกษาข้อมูลทางเทคนิค วิธีการใช้งานโปรแกรม Pyrosim 2010 และ FDS+Evac

โปรแกรม Pyrosim ถูกพัฒนาโดยบริษัท Thunderhead Engineering ประเทศสหรัฐอเมริกา และได้รับความร่วมมือจากคณะทำงานของ NIST (National Institute of Standards and Technology) และคณะทำงานจากสถาบัน VIT Technical Research Center of Finland ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม FDS และ FDS+Evac

ไฟล์ที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าวจะมีนามสกุล .psm ซึ่งสามารถถูกแปลงเป็นนามสกุล .fds ได้เมื่อต้องการไฟล์ดังกล่าวไปใช้ในโปรแกรม FSD หรือ FDS+Evac ภายในโปรแกรมจะมีชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง กำหนดชนิดเชื้อเพลิง กำหนดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน หัวกระจายน้ำดับเพลิง เป็นต้น นอกจากนั้นสามารถใช้โปรแกรมนี้เขียนกราฟที่ได้จากการประมวลผลซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ข้อมูลเพิ่มเติมสามารถค้นคว้าได้จาก <http://www.thunderheadeng.com/>

โปรแกรม FDS+Evac เป็นส่วนเสริมของโปรแกรม FDS ในการใช้งานพื้นฐานเหมือนกับการใช้โปรแกรม FDS รายละเอียดดูได้จาก <http://www.nist.gov/> การใช้งาน FDS+Evac ต้องทำการป้อนชุดคำสั่งตั้งแต่โครงข่ายที่ใช้ในการอพยพ (Evacuation Mesh) กำหนดสิ่งกีดขวาง กำหนดประเภทของบุคคล ความเร็ว ตำแหน่งเริ่มทำการอพยพ ระยะเวลาในการตรวจจับ ระยะเวลาเริ่มที่จะอพยพ

ไฟล์ที่ได้จากการประมวลผลมีทั้งไฟล์ที่เป็น Excel และไฟล์ที่ใช้ในการดูผลลัพธ์ของแบบจำลองจะมีนามสกุล .smv ซึ่งใช้ Smokeview ในการแสดงผลลัพธ์ ชุดคำสั่งต่างๆ ดังนี้

MESH เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตในพื้นที่ที่ใช้ในโมเดล และเป็นการประกาศเกี่ยวกับขอบเขตพื้นที่ในการอพยพ

TIME เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์

SURF เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดพื้นผิวของวัสดุต่างๆ เช่น BURNER, WALL ตามโครงสร้างที่เรากำหนด

VENT เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งของ
ต้นเพลิง หรือ ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของทางเข้าและทางออก

OBST เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดวัตถุที่อยู่ใน
โครงสร้างที่เราจะกำหนด เช่น ผนัง พื้น โถง แก้ว บันได

HOLE เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดช่องหรือรูซึ่งจะใช้
เป็น ประตู หน้าต่าง หรือช่องเปิดต่างๆ

PERS เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดคนที่ใช้ในการ
จำลองว่าจะให้เป็นประเภทอะไร เช่น เด็ก ผู้ใหญ่ คนแก่ วัยรุ่นหญิง วัยรุ่นชาย

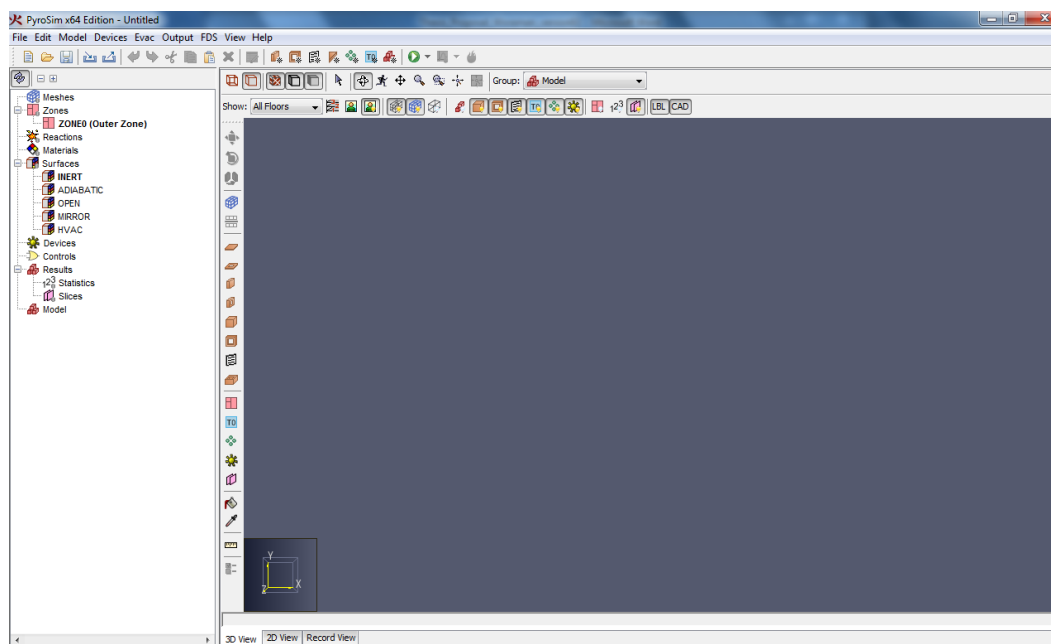
EVAC เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการอพยพ เช่น การประกาศว่า
ในการจำลองนั้นมีคนวัยใดอยู่บ้าง อยู่ตำแหน่งไหน

EVHO เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดไม่ให้คนเข้าไป
ใกล้กับไฟ

EXIT เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดทางออกที่ใช้ในการ
อพยพออกนอกอาคารหรือทางออกที่ปลอดภัย

ENTR เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดทางเข้าของคนที่ใช้
ในการอพยพ

DOOR เป็นคำสั่งที่ใช้ประกาศใน Input Data ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดประตู ซึ่งเป็นทาง
ที่นำไปสู่ชั้นอื่นๆ เพื่อไปยังทางออก (EXIT)



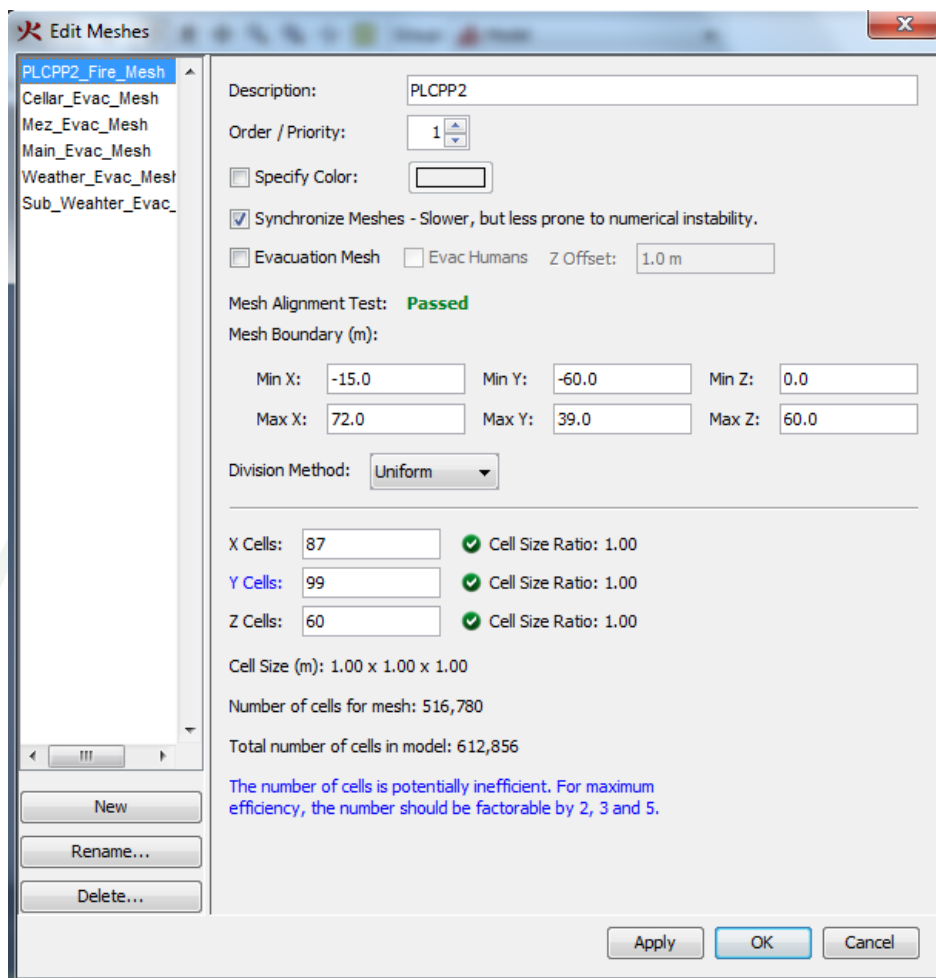
ภาพที่ ๑ แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Pyrosim

3. การสร้างแบบจำลอง

1.1 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Pyrosim 2010

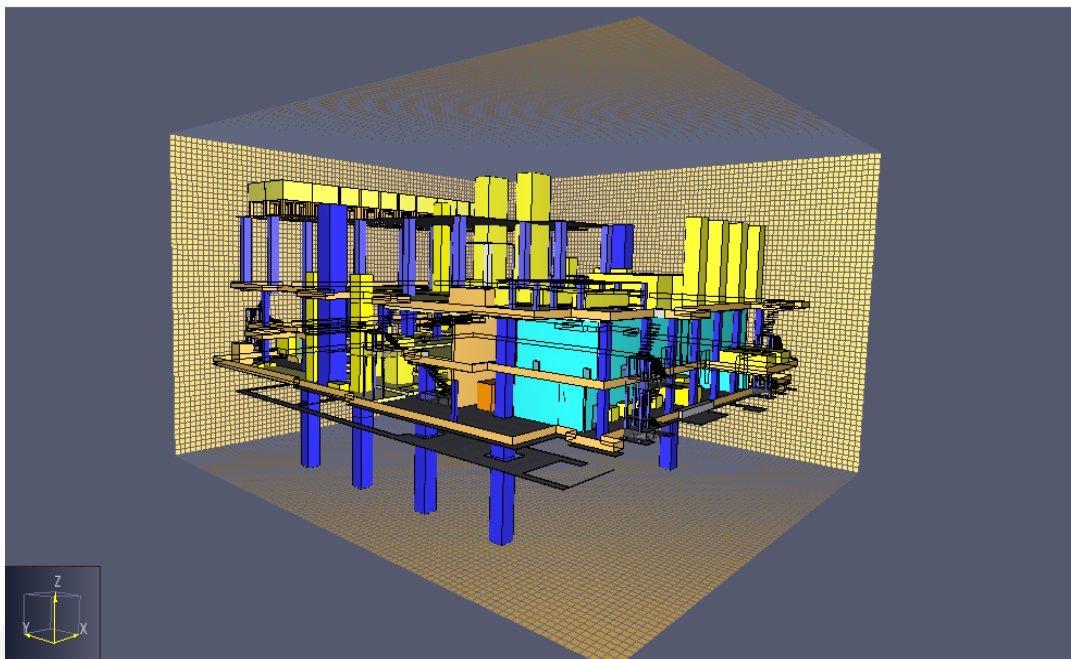
1.1.1 ทำการกำหนดขนาดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh) ของแบบจำลองโดยมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 87 x 99 x 60 เมตร และมีขนาดกริดเท่ากับ 1 เมตร ดังแสดงในภาพ

10



ภาพที่ 10 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่าย

1.1.2 สร้างวัตถุที่ต้องการแสดงในแบบจำลอง พร้อมระบุชนิดของวัสดุในแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 11 พร้อมทดลองประมวลผลแบบจำลองที่ได้ด้วยโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้คำสั่ง Preview Model in Smokeview เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลองจากการใส่ข้อมูล



ภาพที่ 11 แสดงแบบจำลอง และโดเมนในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

1.2 สร้างชุดคำสั่งสำหรับการอพยพ โดยทำการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ของแบบจำลองแต่ละชั้น โดยใช้หลักการเดียวกับการกำหนดขนาดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh) ของแบบจำลองโดยมีขนาดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ของแบบจำลองแต่ละชั้น

ชั้น	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	สูง (เมตร)
Cellar Deck	77	94	1
Mezzanine Deck	74	93	1
Main Deck	68	93	1
Weather Deck	55	60	1

ชุดคำสั่งในการกำหนดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ในแต่ละชั้น

ชั้น Cellar Deck

```
&MESH ID='Cellar_Evac_Mesh',
    IJK=154,188,1,
    XB=-15.0,62.0,-55.0,39.0,18.0,19.0,
    EVACUATION=.TRUE.,
    EVAC_HUMANS=.TRUE., EVAC_Z_OFFSET=0.95/
```

ชั้น Mezzanine Deck

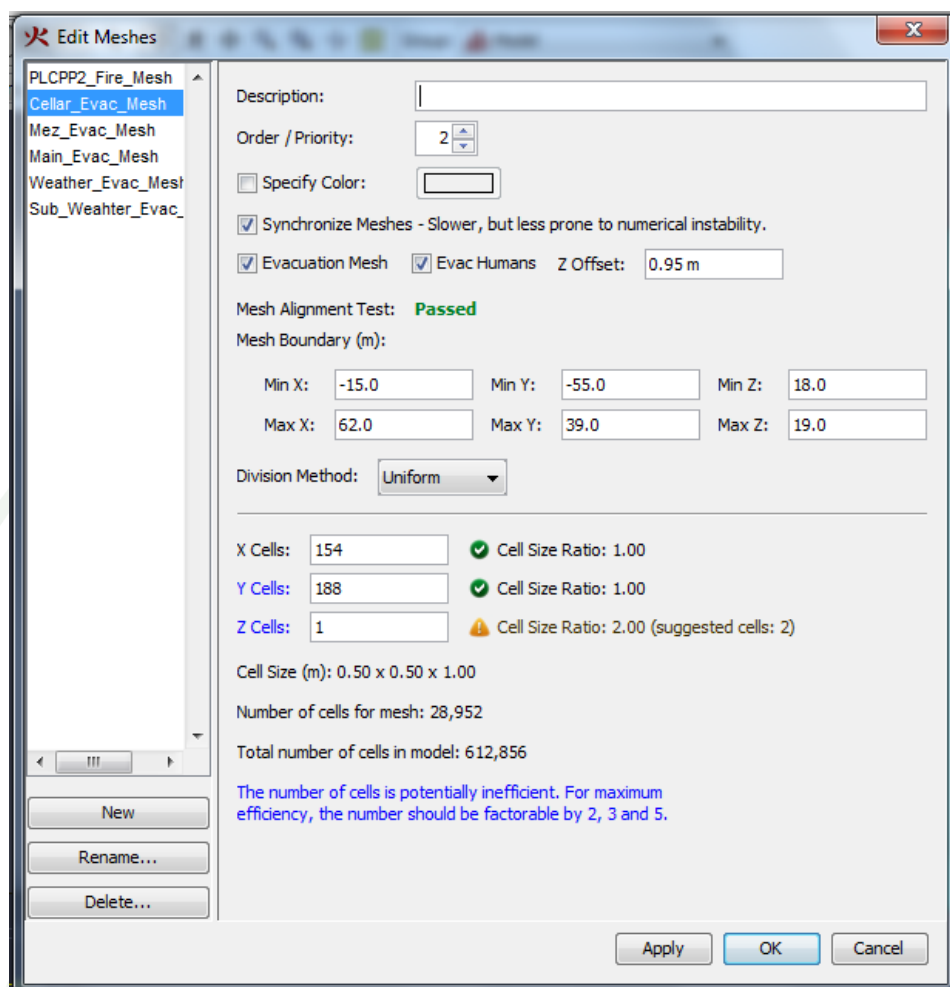
```
&MESH ID='Mez_Evac_Mesh',
    IJK=148,186,1,
    XB=-12.0,62.0,-54.0,39.0,24.0,25.0,
    EVACUATION=.TRUE.,
    EVAC_HUMANS=.TRUE., EVAC_Z_OFFSET=0.95/
```

ชั้น Main Deck

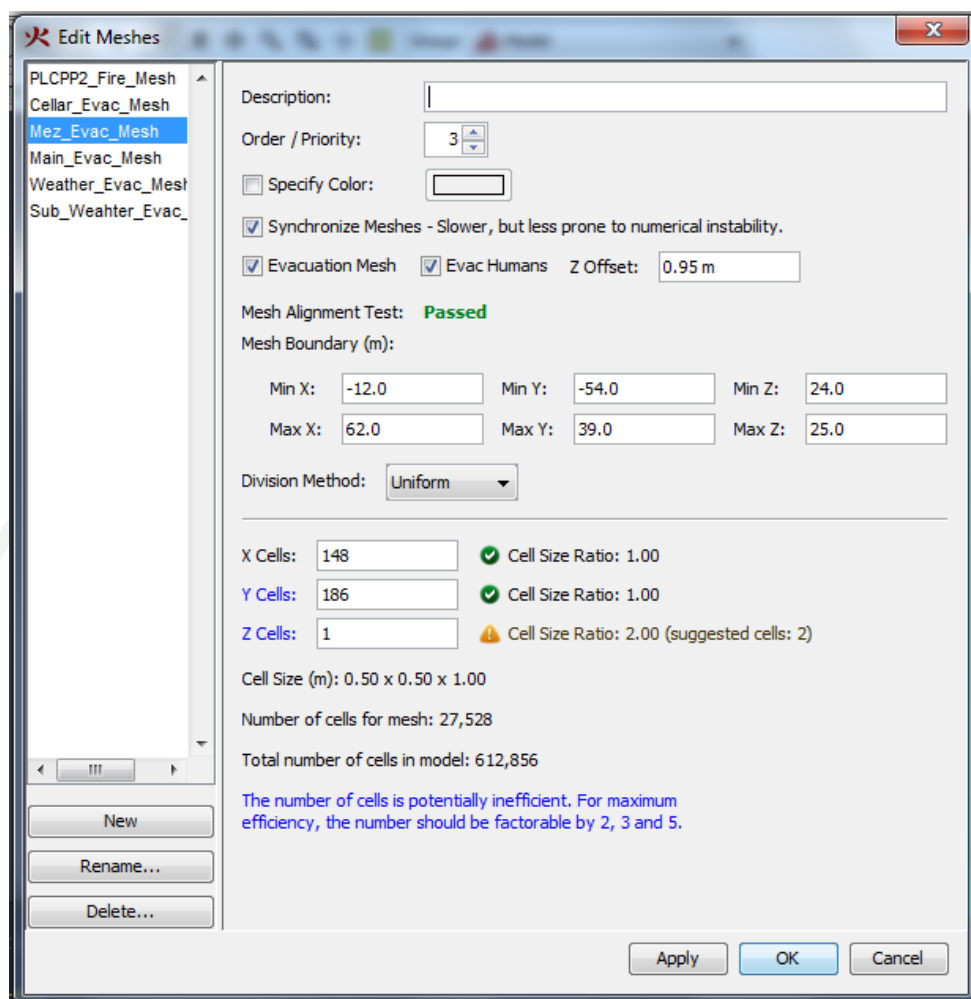
```
&MESH ID='Main_Evac_Mesh',
    IJK=136,186,1,
    XB=-10.0,58.0,-54.0,39.0,32.0,33.0,
    EVACUATION=.TRUE.,
    EVAC_HUMANS=.TRUE., EVAC_Z_OFFSET=0.95/
```

ชั้น Weather Deck

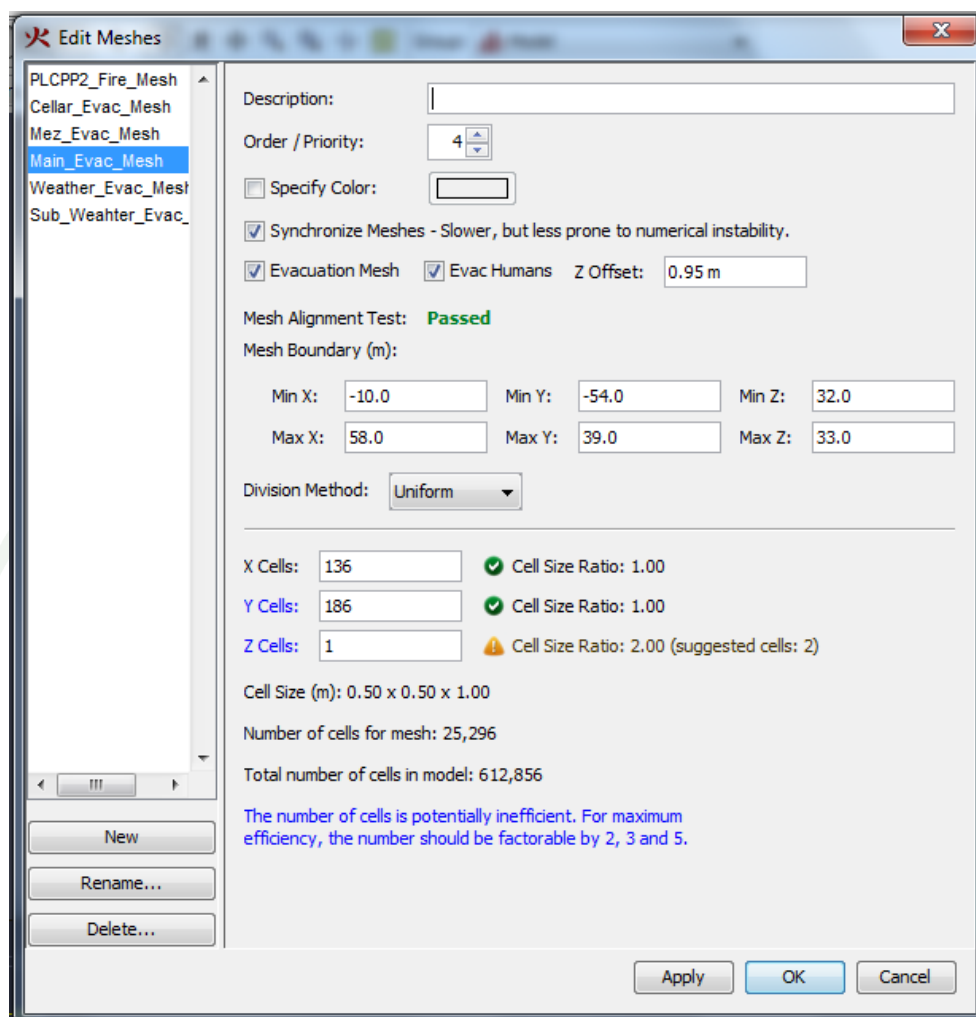
```
&MESH ID='Weather_Evac_Mesh',
    IJK=110,120,1,
    XB=-4.0,51.0,-21.0,39.0,46.0,47.0,
    EVACUATION=.TRUE.,
    EVAC_HUMANS=.TRUE., EVAC_Z_OFFSET=0.95/
```



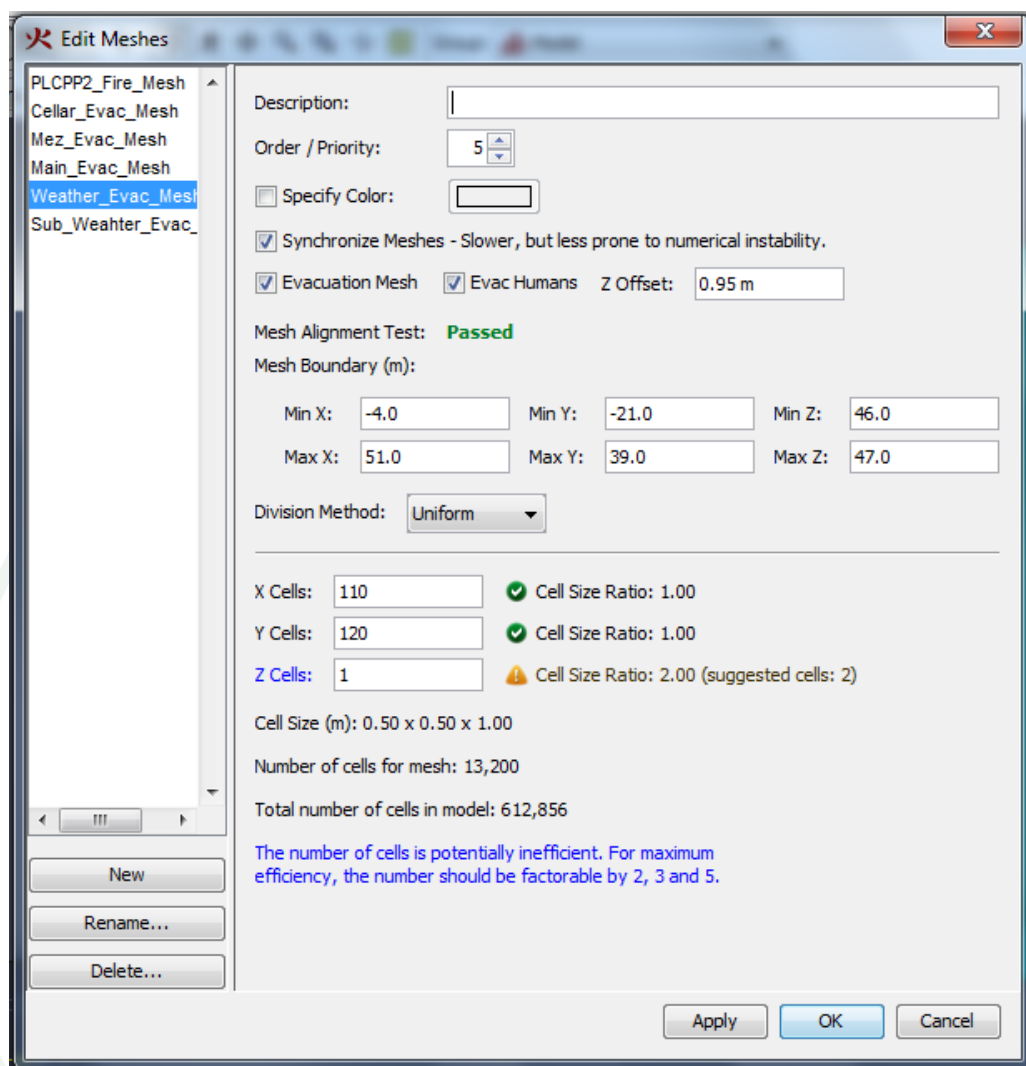
ภาพที่ 12 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Cellar Deck



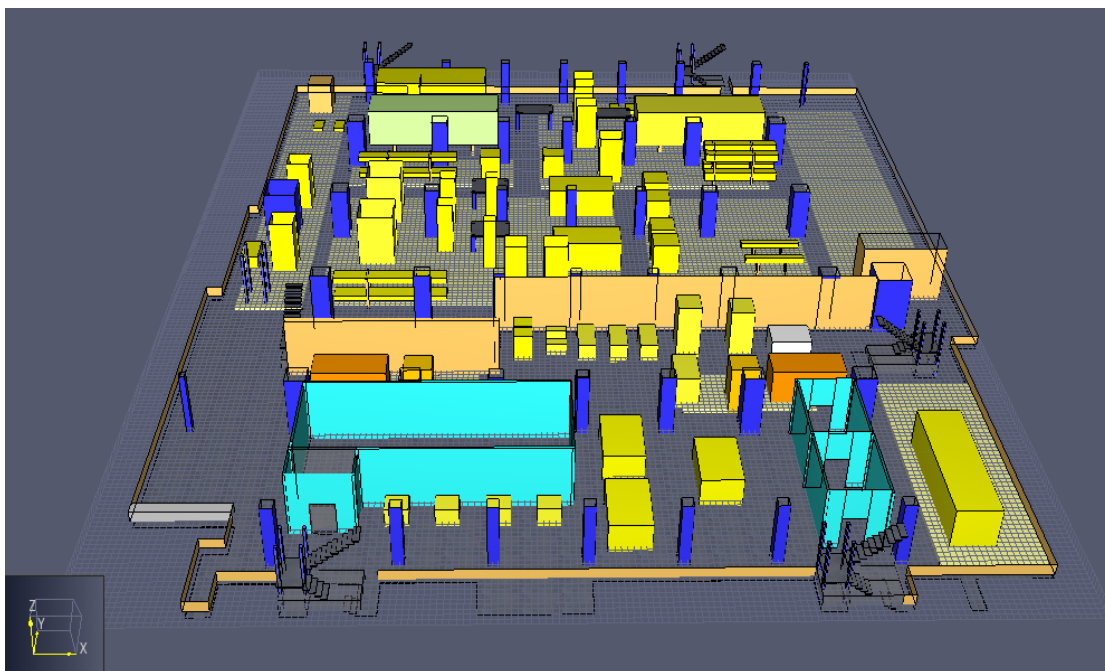
ภาพที่ 13 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Mezzanine Deck



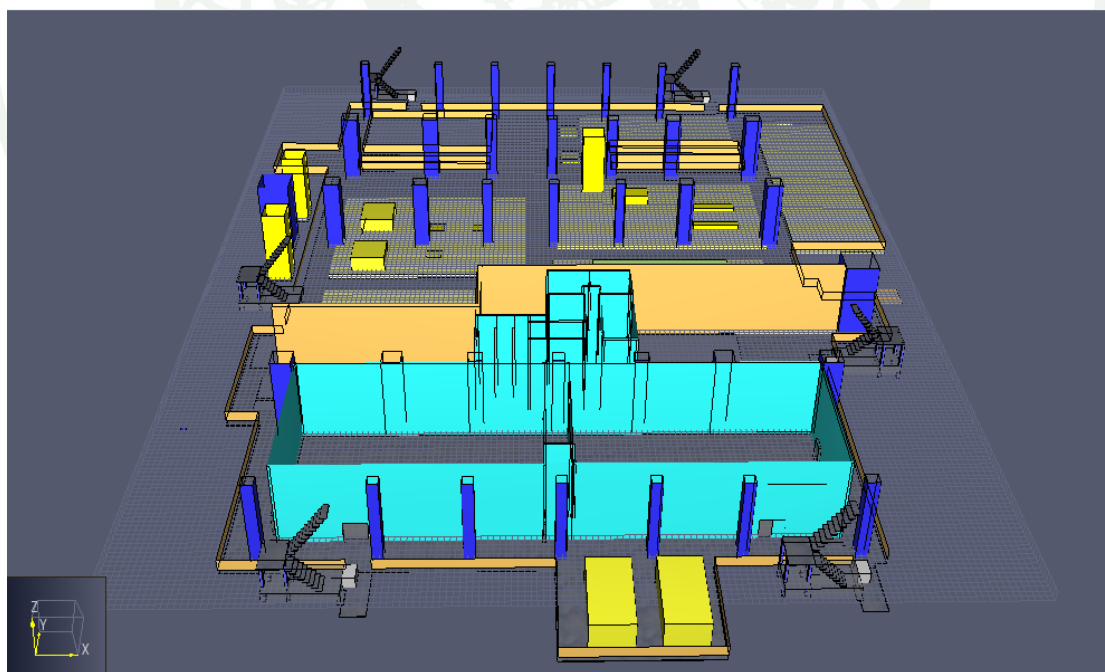
ภาพที่ 14 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Main Deck



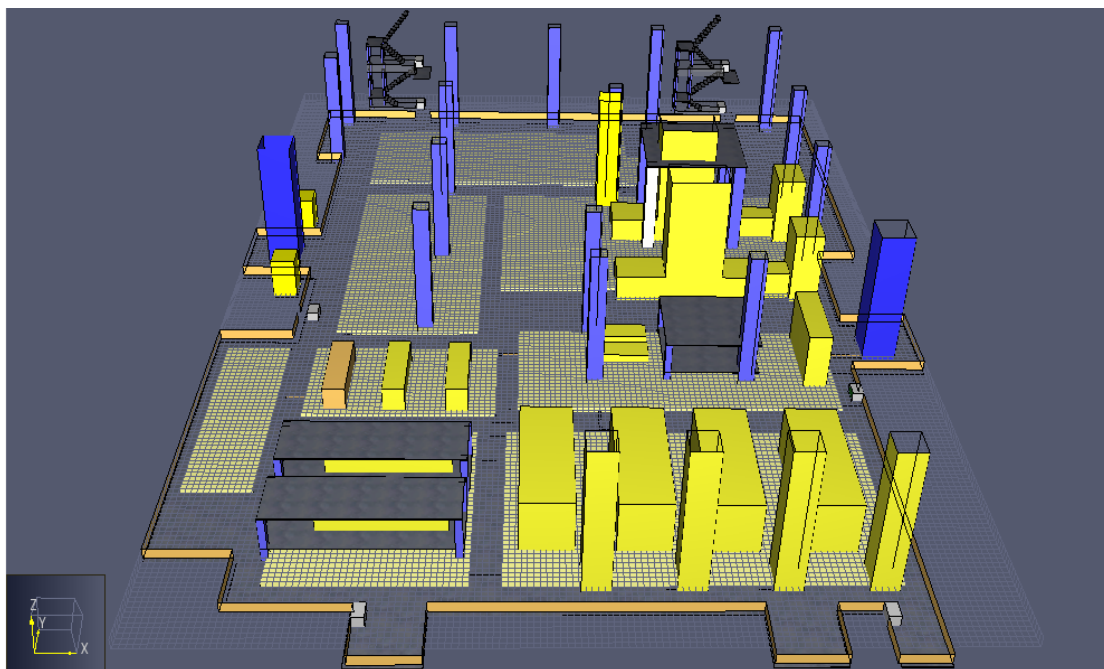
ภาพที่ 15 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim 2010 ในการกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Weather Deck



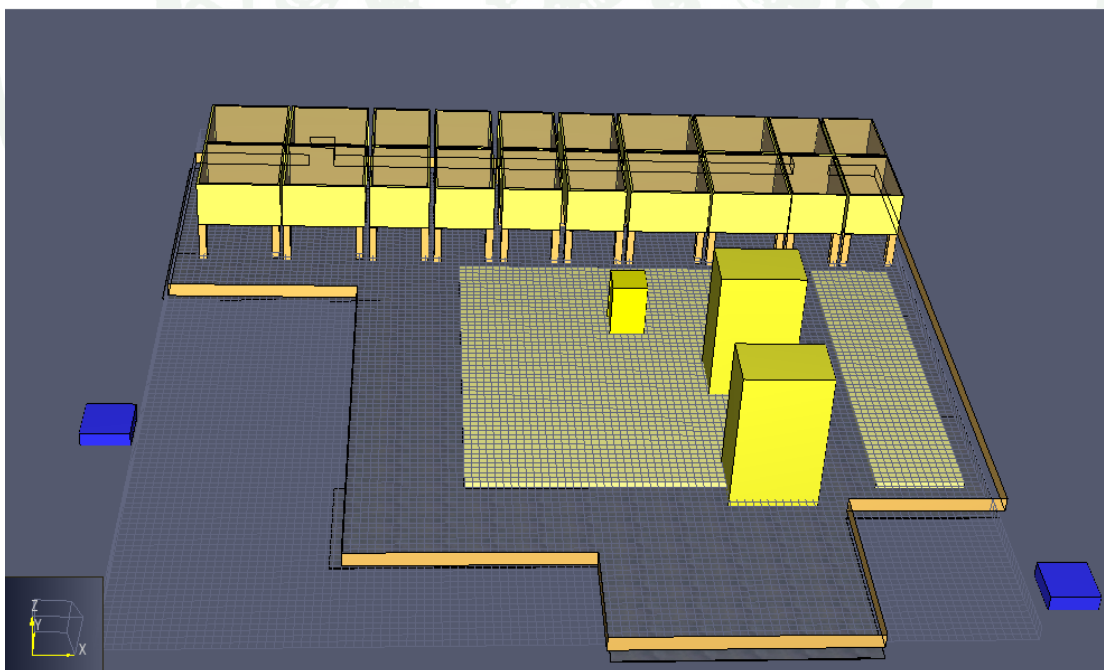
ภาพที่ 16 แสดงแบบจำลอง และโดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Cellar Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



ภาพที่ 17 แสดงแบบจำลอง และโดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Mezzanine Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



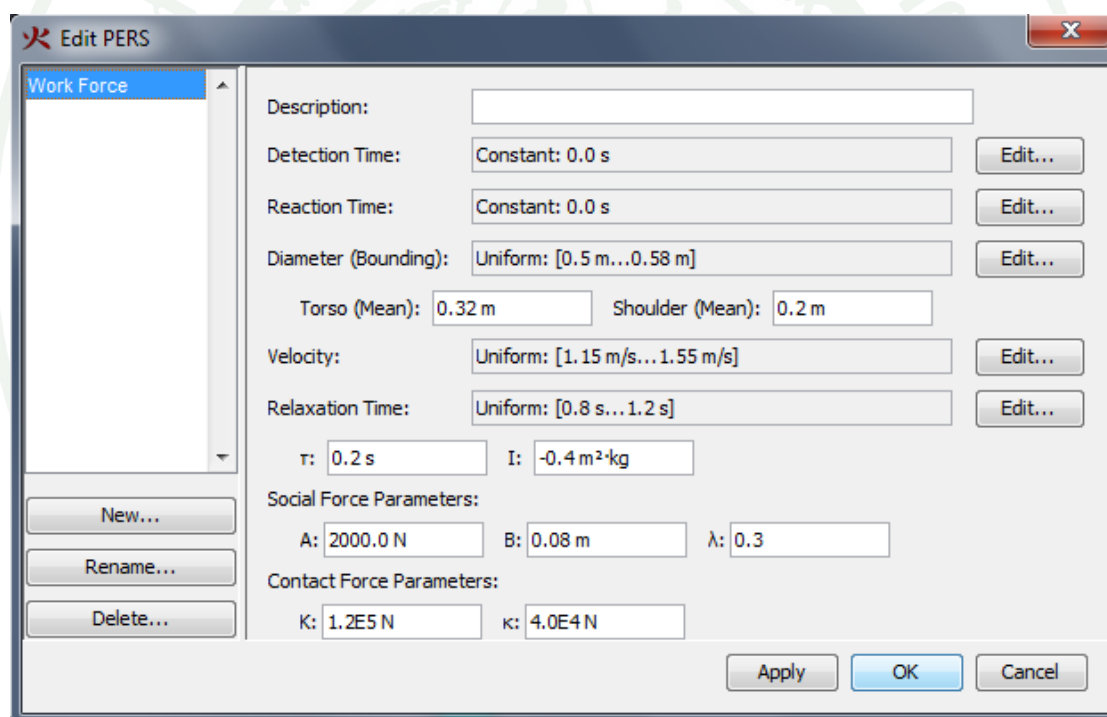
ภาพที่ 18 แสดงแบบจำลอง และโดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Main Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010



ภาพที่ 19 แสดงแบบจำลอง และโดเมนการอพยพ (Evacuation Mesh) ชั้น Weather Deck ในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim 2010

1.3 กำหนดคุณสมบัติของกลุ่มผู้อพยพที่ใช้ในแบบจำลอง โดยกำหนดให้เป็น ผู้ใหญ่ เพศชาย ตามคุณลักษณะของพนักงานที่ปฏิบัติงาน ณ ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง พร้อมทั้งกำหนดให้ผู้อพยพทุกคนทราบถึงจุดรวมพล ซึ่งในแบบจำลองได้กำหนดให้ Exit เป็นจุดรวมพล รวมทั้งกำหนดให้ค่าความสามารถในการตรวจจับว่าเกิดเพลิงไหม้ในทันที

ชุดคำสั่งในการกำหนดคุณสมบัติของผู้อพยพในแบบจำลอง
<pre>&PERS ID='Work Force', DEFAULT_PROPERTIES='Male', PRE_EVAC_DIST=0, PRE_MEAN=0.0/</pre>



ภาพที่ 20 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของผู้อพยพในแบบจำลอง

1.4 กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของผู้อพยพในแต่ละกรณี คือ 45 คนในสภาพการทำงานปกติ และ 150 คนในช่วงที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี โดยแบ่งกลุ่มผู้อพยพให้อยู่ในแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนของผู้อพยพ และตำแหน่งเริ่มต้น

ชั้น	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
	เปรียบเทียบกับ การซ้อม แผนฉุกเฉิน	การทำงาน ปกติ ไม่มีเพลิง ไหม้	การทำงาน ปกติ มีเพลิงไหม้	หยุดการ ผลิต ไม่มีเพลิง ไหม้	หยุดการผลิต มีเพลิงไหม้
Cellar Deck	15	15	15	40	40
Mezzanine Deck	15	15	15	40	40
Main Deck	15	15	15	50	50
Weather Deck	-	-	-	20	20
รวม	45	45	45	150	150

ชุดคำสั่งในการกำหนดจำนวนของผู้อพยพ และตำแหน่งเริ่มต้น สำหรับกรณีที่ 1, 2 และ 3

ชั้น Cellar Deck

&EVAC ID='Adult_Cellar',
 XB=-11.0,61.0,-52.0,34.0,18.0,19.0,
 MESH_ID='Cellar_Evac_Mesh',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS=15,
 PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'

ชั้น Mezzanine Deck

&EVAC ID='Adult_Mez',
 XB=-9.0,58.0,-52.0,34.0,24.0,25.0,
 MESH_ID='Mez_Evac_Mesh',
 NUMBER_INITIAL_PERSONS=15,
 PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'

ชั้น Main Deck

```
&EVAC ID='Adult_Main',
      XB=-10.0,58.0,-52.0,39.0,32.0,33.0,
      MESH_ID='Main_Evac_Mesh',
      NUMBER_INITIAL_PERSONS=15,
      PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'
```

ชุดคำสั่งในการกำหนดจำนวนของผู้อพยพ และตำแหน่งเริ่มต้น สำหรับกรณี ที่ 4 และ 5

ชั้น Cellar Deck

```
&EVAC ID='Adult_Cellar',
      XB=-11.0,61.0,-52.0,34.0,18.0,19.0,
      MESH_ID='Cellar_Evac_Mesh',
      NUMBER_INITIAL_PERSONS=30,
      PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'
```

ชั้น Mezzanine Deck

```
&EVAC ID='Adult_Mez',
      XB=-9.0,58.0,-52.0,34.0,24.0,25.0,
      MESH_ID='Mez_Evac_Mesh',
      NUMBER_INITIAL_PERSONS=30,
      PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'
```

ชั้น Main Deck

```
&EVAC ID='Adult_Main',
      XB=-10.0,58.0,-52.0,39.0,32.0,33.0,
      MESH_ID='Main_Evac_Mesh',
      NUMBER_INITIAL_PERSONS=30,
      PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'
```

ชั้น Weather Deck

```
&EVAC ID='Adult_Weather',
XB=-4.0,51.0,-21.0,39.0,46.0,47.0,
MESH_ID='Weather_Evac_Mesh',
NUMBER_INITIAL_PERSONS=10,
PERS_ID='Work Force', AVATAR_COLOR='WHITE/'
```

1.5 กำหนดตำแหน่งทางออกบริเวณที่เป็นจุดรวมพล และจุดปลอดภัย

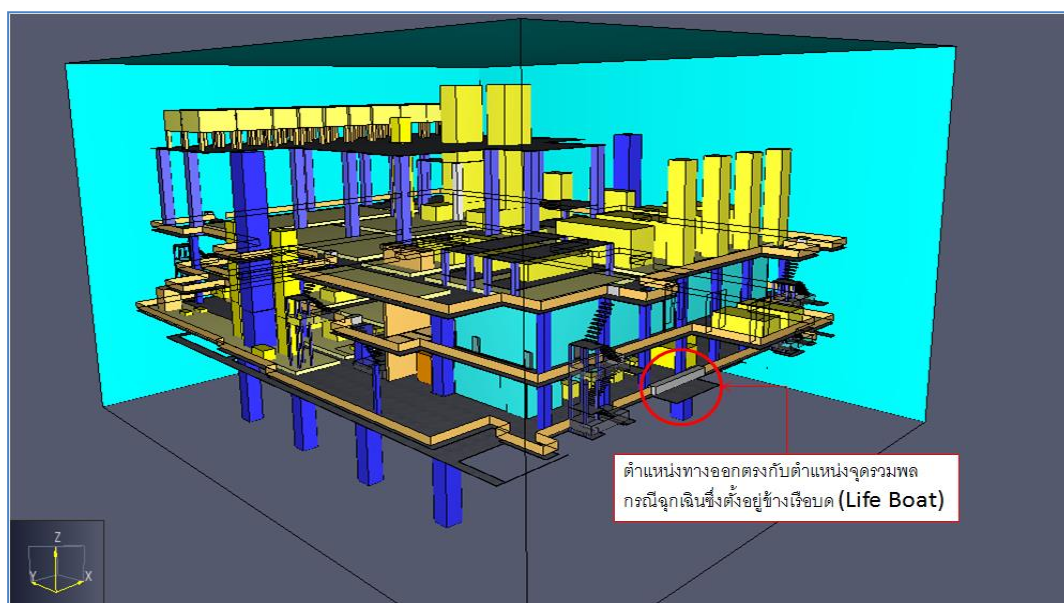
กรณีที่ 1 กำหนดให้ตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งจุดรวมพลกรณีฉุกเฉินซึ่งตั้งอยู่ข้างเรือรบ (Life Boat) ดังแสดงในภาพที่ 21

ชุดคำสั่งในการกำหนดตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งจุดรวมพลกรณีฉุกเฉินซึ่งตั้งอยู่ข้างเรือรบ (Life Boat)

```
&MESH ID='Cellar_Evac_Mesh',
IJK=154,188,1,
XB=-15.0,62.0,-55.0,39.0,18.0,19.0,
EVACUATION=.TRUE.,
EVAC_HUMANS=.TRUE., EVAC_Z_OFFSET=0.95/

&SURF ID='Outflow',
RGB=26,128,26,
VEL=1.0E-6/

&VENT
SURF_ID='Outflow',
XB=15.0,25.0,-50.0,-50.0,18.0,19.0,
EVACUATION=.TRUE.,
MESH_ID='Cellar_Evac_Mesh'/ Cellar_Door_Evac_Mesh
```



ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งจุดรวมพลกรณีฉุกเฉินซึ่งตั้งอยู่ข้างเรือรบ (Life Boat)

กรณีที่ 2, 3, 4 และ 5 กำหนดให้ตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต ดังแสดงในภาพที่ 22

ชุดคำสั่งในการกำหนดตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

&MESH ID='Cellar_Evac_Mesh',

IJK=154,188,1,

XB=-15.0,62.0,-55.0,39.0,18.0,19.0,

EVACUATION=.TRUE., EVAC_HUMANS=.TRUE.,

EVAC_Z_OFFSET=0.95/

&SURF ID='Outflow',

RGB=26,128,26,

VEL=1.0E-6/

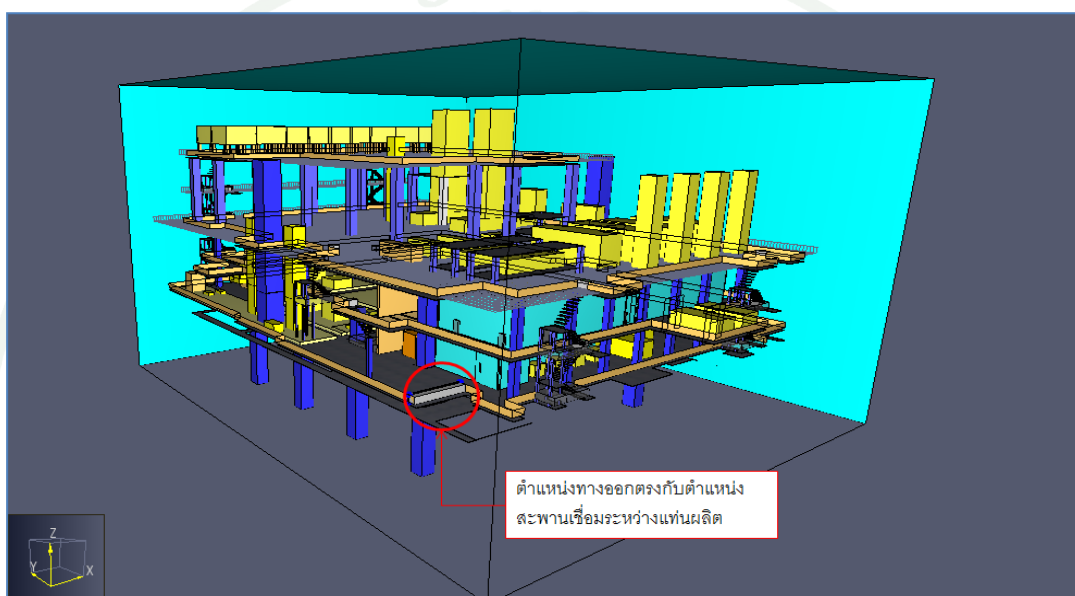
&VENT

SURF_ID='Outflow',

XB=-12.0,-4.0,-43.0,-43.0,18.0,19.0,

EVACUATION=.TRUE.,

MESH_ID='Cellar_Evac_Mesh'/ Cellar_Door_Evac_Mesh[1]



ภาพที่ 22 แสดงตำแหน่งทางออกตรงกับตำแหน่งสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

1.6 กำหนดขนาดของกองเพลิงในแบบจำลอง

ในแบบจำลองได้กำหนดให้เกิดเพลิงไหม้ได้อุปกรณ์ Inlet Separator เชื้อเพลิงที่ใช้การศึกษานี้เป็นไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันดิบ) ขนาดของกองเพลิงมีขนาดเท่ากับ 4.5 เมตร $\times$ 14 เมตร ซึ่งเป็นขนาดเท่ากับพื้นที่กักน้ำมันในกรณีหกรั่วไหล ที่อยู่ได้อุปกรณ์รับแรงดัน โดยไม่มีการรั่วไหลเพิ่มเติม โดยกำหนดค่าการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ (Heat Release Rate Per Unit Area) เท่ากับ 23.39 kW/m^2 ทั้งนี้ได้กำหนดให้มีการปลดปล่อยความร้อนจาก 5 ทิศทางของกองเพลิงที่อยู่ใต้ Inlet Separator เพื่อให้มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1000 kW/m^2

ตำแหน่งของกองเพลิงในแบบจำลองได้แสดงไว้ในภาพที่ 23

ชุดคำสั่งในการกำหนดค่าการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 23.39 kW/m^2

&SURF ID='Burner3',

COLOR='RED',

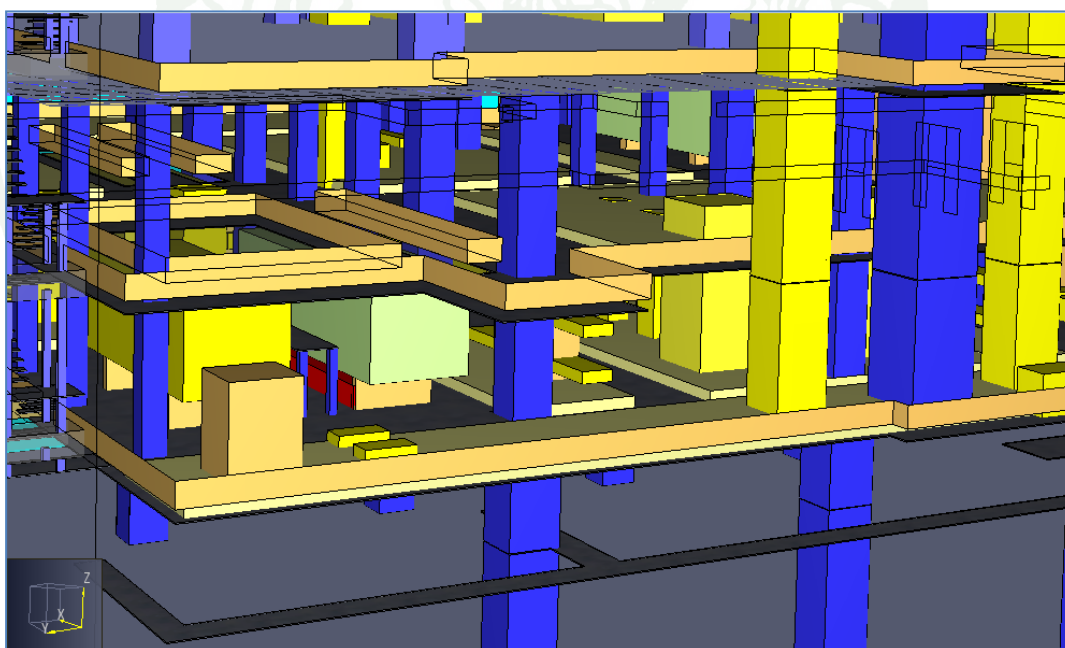
HRRPUA=23.39/

ชุดคำสั่งในการกำหนดพื้นที่ของเชื้อเพลิงขนาด 63 ตารางเมตร

&OBST

XB=4.0,13.0,19.0,22.0,17.5,18.5,

SURF_IDS='Burner3','Burner3','INERT'/ Burner



ภาพที่ 23 แสดงการกำหนดตำแหน่งของกองเพลิง (ตำแหน่งสีแดงในภาพ)

ผลและวิจารณ์

ผล

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac โดยพิจารณาทั้งหมด 5 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด โดยอ้างอิงจากความสามารถในการบรรทุกของเรือปิด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) จำนวน 1 ลำ ที่ถูกติดตั้งไว้บนชั้น Cellar Deck ของฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง โดยกำหนดจุดรวมพลบริเวณเรือปิด เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพของโปรแกรม Fire Dynamic Simulator with Evacuation (FDS+Evac) กับการจับเวลาจากการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี โดยกำหนดให้ผู้อพยพเป็นพนักงานที่ทำงานอยู่แต่ละชั้น ชั้นละ 15 คน ดังแสดงในตารางที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 184 วินาที หรือ 3 นาที ในขณะที่การซ้อมแผนฉุกเฉิน พบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 5 นาที

จากภาพที่ 24 – 28 แสดงถึงผู้อพยพในแบบจำลองเดินมายังจุดรวมพลในแต่ละช่วงเวลา ภาพที่ 29 แสดงผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 184 วินาที (3 นาที)

ภาพที่ 30 แสดงกราฟจำนวนผู้อพยพ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ที่ผู้อพยพเดินมาถึงจุดรวมพล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพลที่เวลาประมาณ 17 วินาที ในช่วงนาทีที่ 1 มีผู้อพยพเดินทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 17 คน เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มีผู้อพยพเดินทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 31 คน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที มีผู้อพยพเดินทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 44 คน และผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 3 นาที

ในการซ้อมแผนการอพยพหนีไฟนั้น สัญญาณฉุกเฉินดังขึ้นเมื่อเวลา 17:35 นาฬิกา ภาพที่ 31 – 33 แสดงการซ้อมแผนการอพยพหนีไฟ บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง ซึ่งภาพที่ 31 แสดงถึงเวลาที่พนักงานคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพล เท่ากับเวลา 17:36 นาฬิกา ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาที่สัญญาณฉุกเฉินดัง ภาพที่ 32 แสดงถึงการปฏิบัติตัวของพนักงานเมื่อมาถึงจุดรวมพล โดยเมื่อพนักงานมาถึงจุดรวมพลแล้ว จะทำการสวมเสื้อชูชีพ และเข้าแถว ซึ่งพนักงานคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพลเวลา 17:40 นาฬิกา ซึ่งเท่ากับ 5 นาที นับจากเวลาที่สัญญาณฉุกเฉินดังขึ้น

และภาพที่ 33 แสดงถึงการเข้าแถวเพื่อตรวจนับจำนวนพนักงาน หลังจากที่พนักงานคนสุดท้ายเดินมาถึงจุดรวมพล

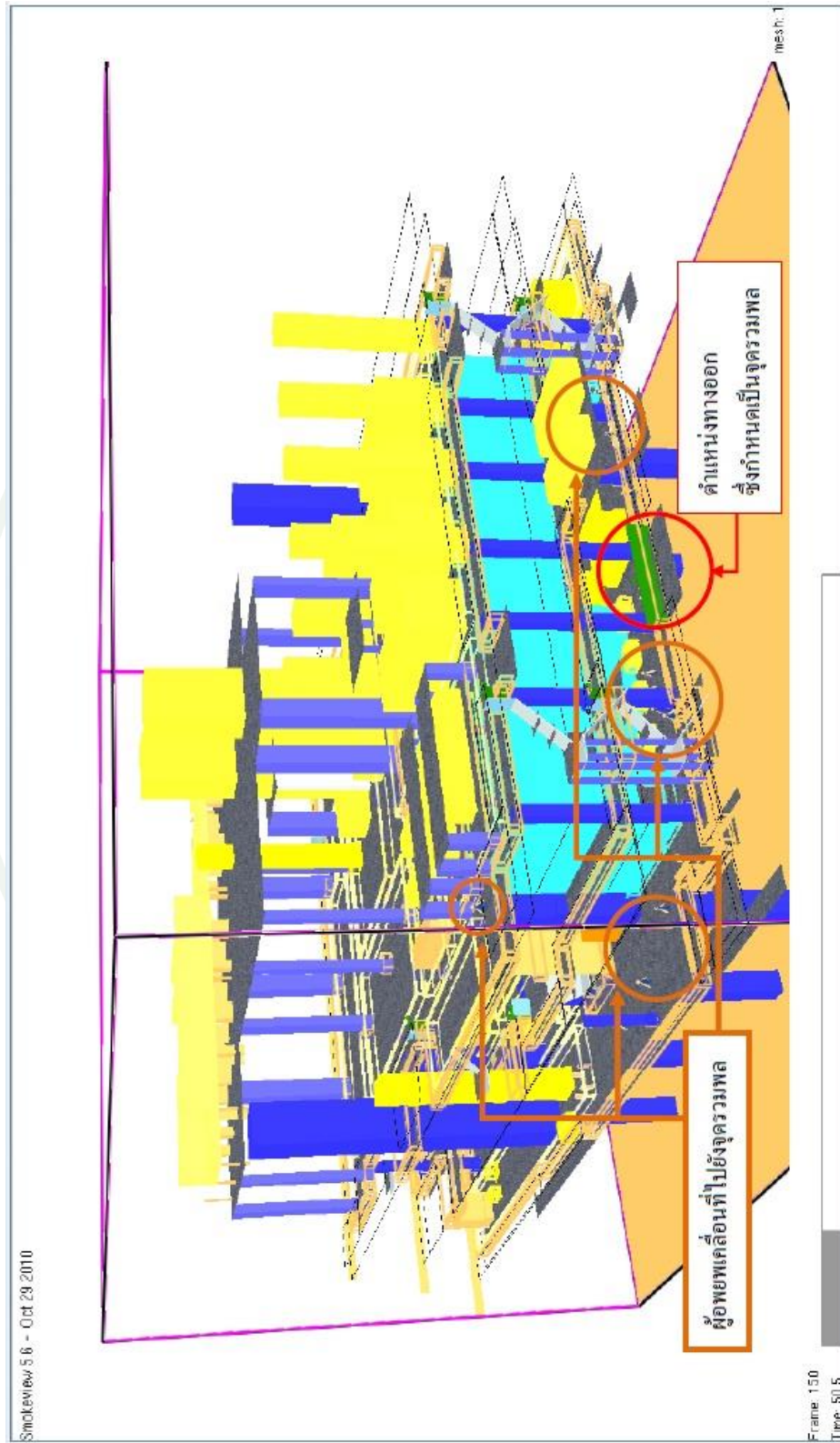




ภาพที่ 24 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 1



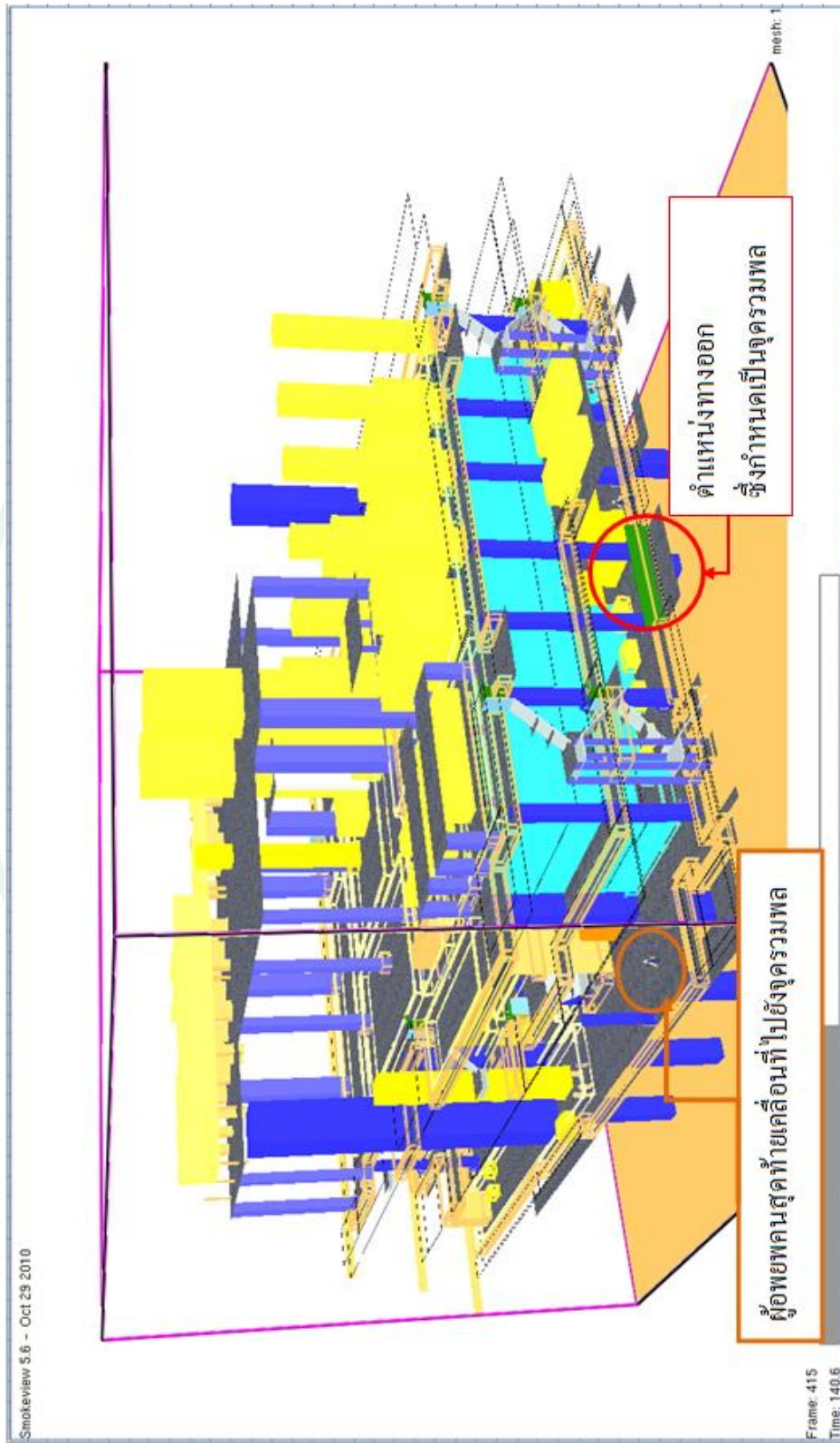
ภาพที่ 25 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 1



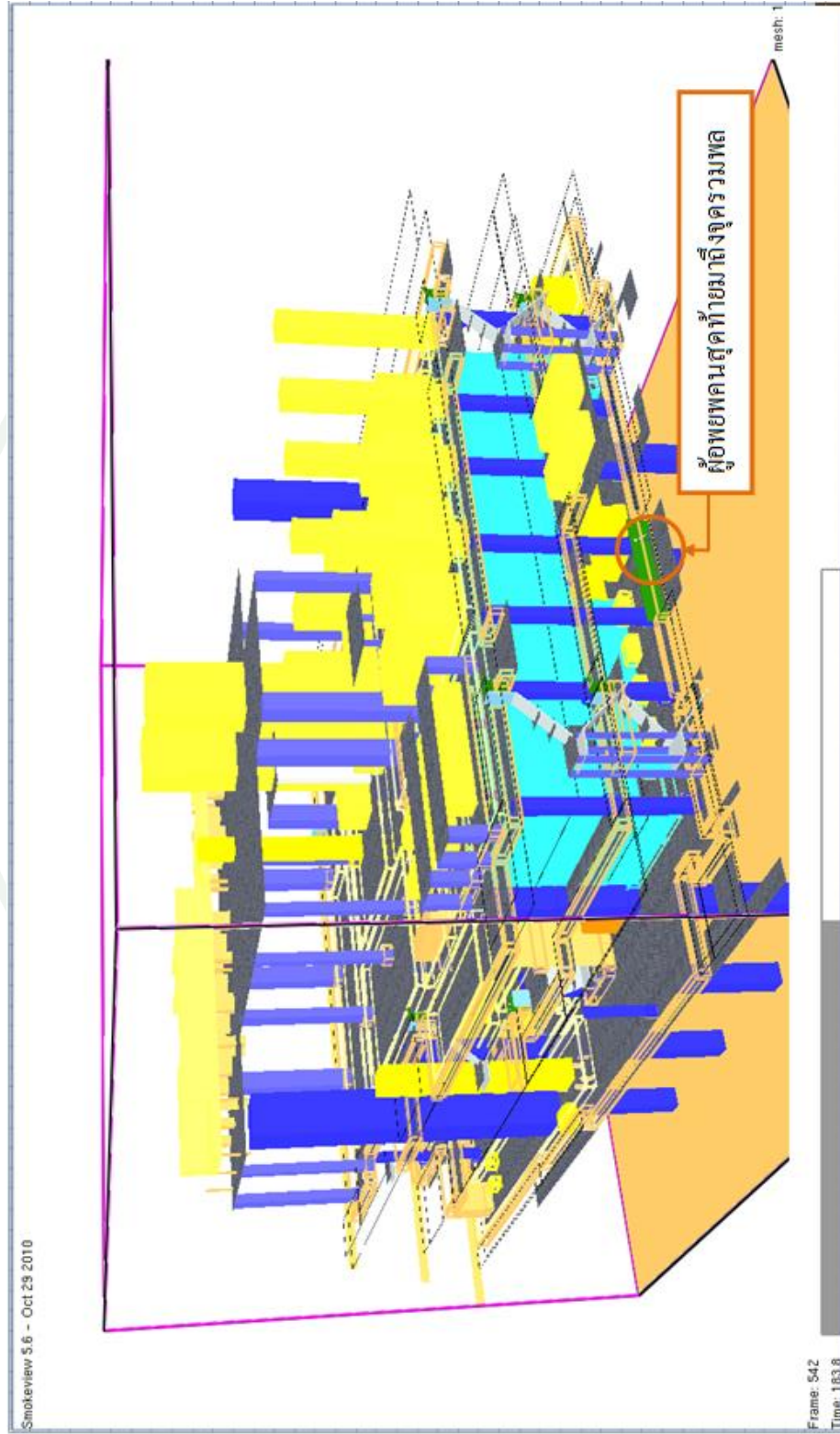
ภาพที่ 26 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 1



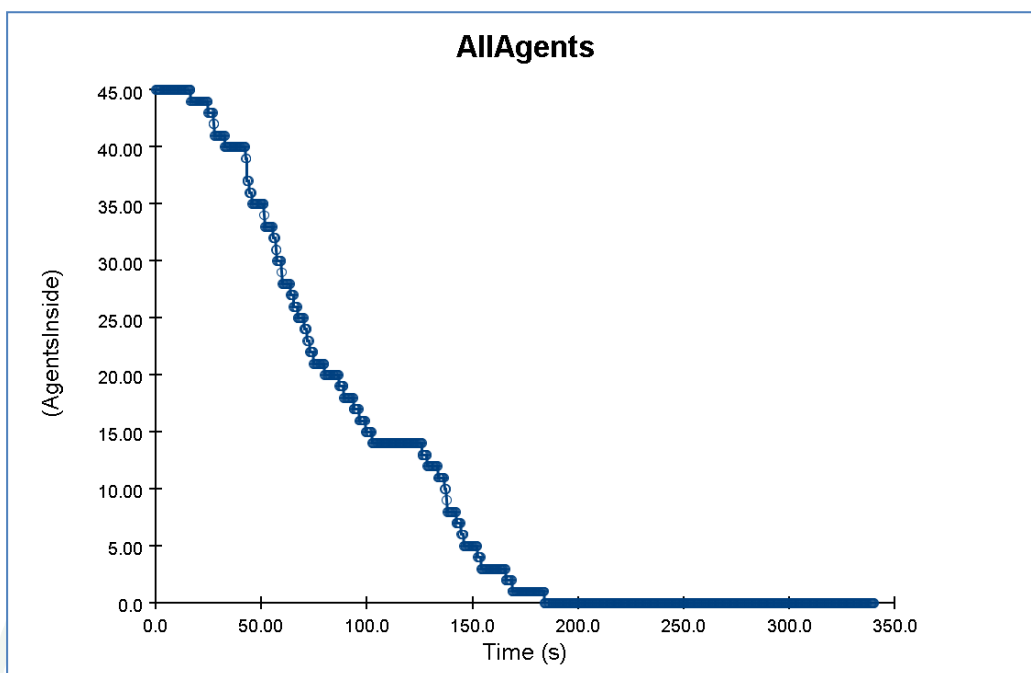
ภาพที่ 27 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 1



ภาพที่ 28 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @140 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 1



ภาพที่ 29 แสดงการอพยพของผู้พลคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @ 184 วินาที ของการจำลอง ในกรณีที่ 1



ภาพที่ 30 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล



ภาพที่ 31 แสดงเวลาที่พนักงานคนแรกมาถึงจุดรวมพลหลังจากสัญญาณเตือนภัยดัง



ภาพที่ 32 แสดงการปฏิบัติตัว และการเข้าแถวเพื่อนับจำนวนคน บริเวณจุดรวมพล

ภาพที่ 40 แสดงให้เห็นว่ามีผู้อพยพในแบบจำลองจำนวน 4 คน เดินลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล



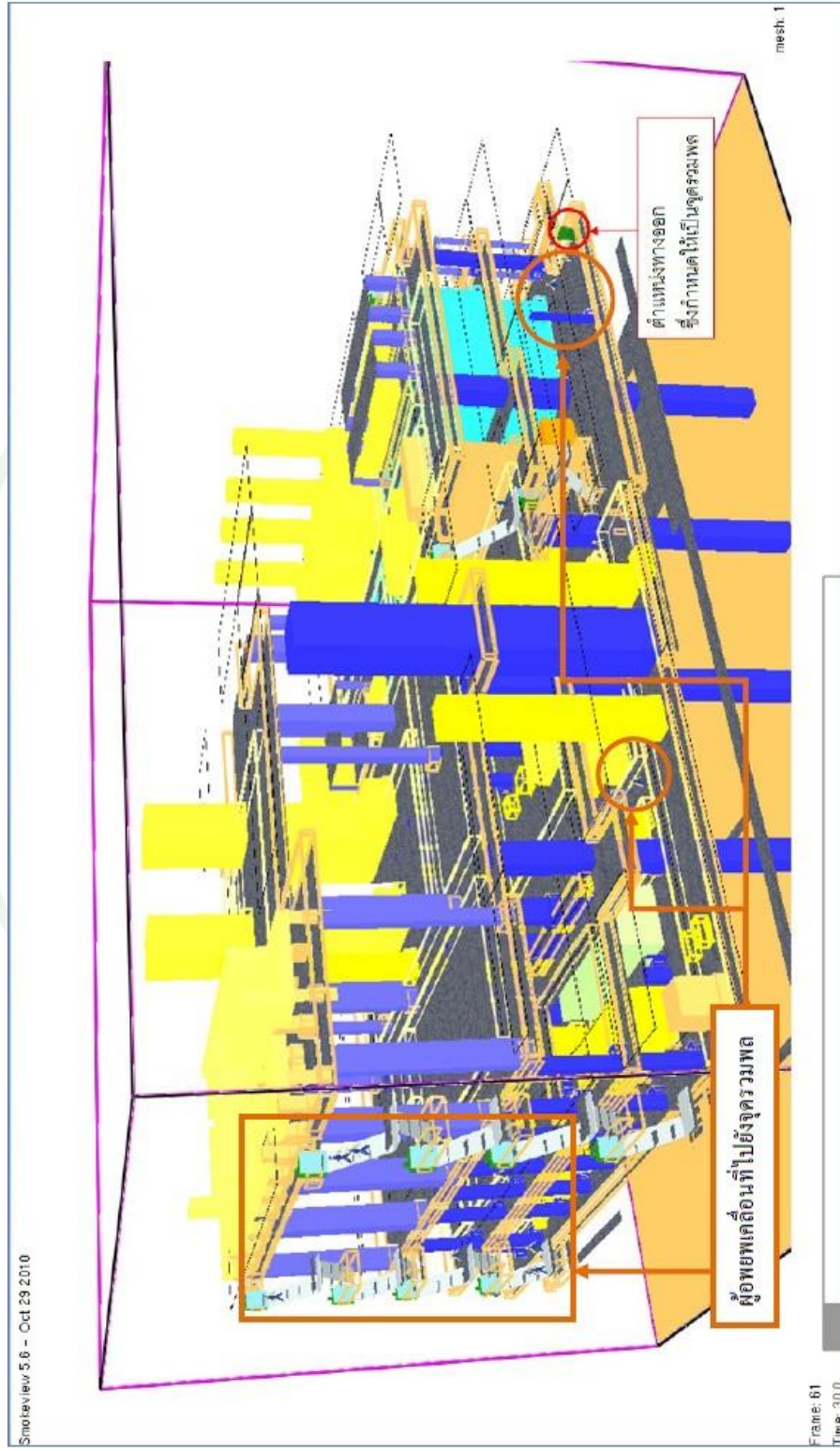


ภาพที่ 33 แสดงถึงการเข้าแถวเพื่อตรวจนับจำนวนพนักงาน

กรณีที่ 2 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต กำหนดให้ผู้อพยพเป็นพนักงานที่ทำงานอยู่แต่ละชั้น ชั้นละ 15 คน ดังแสดงในตารางที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 240 วินาที หรือ 4 นาที

จากภาพที่ 34 – 37 แสดงถึงผู้อพยพในแบบจำลองเดินมายังจุดรวมพลในแต่ละช่วงเวลา ภาพที่ 38 แสดงผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 240 วินาที

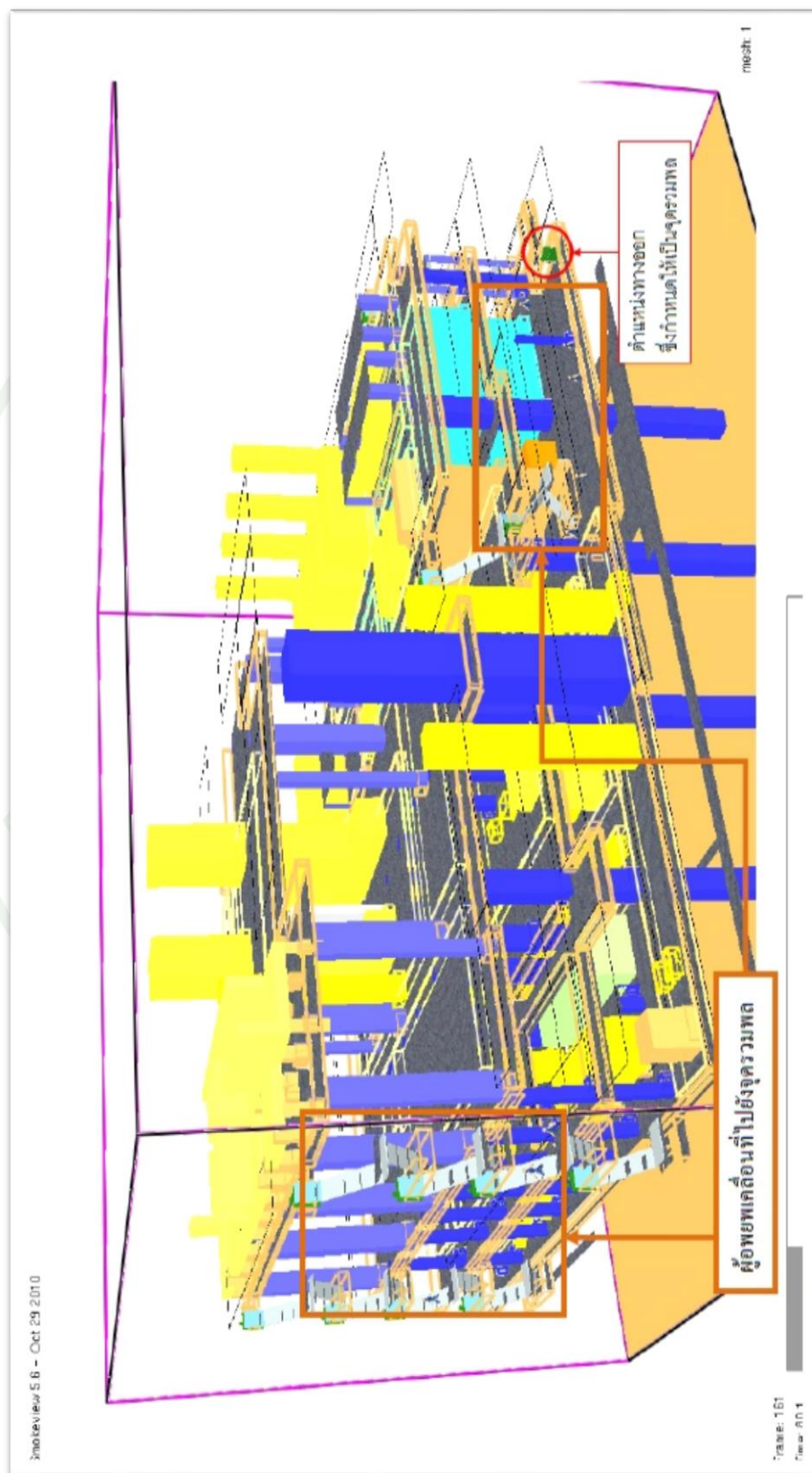
ภาพที่ 39 แสดงกราฟจำนวนผู้อพยพ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ที่ผู้อพยพเดินมาถึงจุดรวมพล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพลที่เวลาประมาณ 8 วินาที ในช่วงนาทีที่ 1 มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 8 คน เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 25 คน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 39 คน และผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 240 วินาที



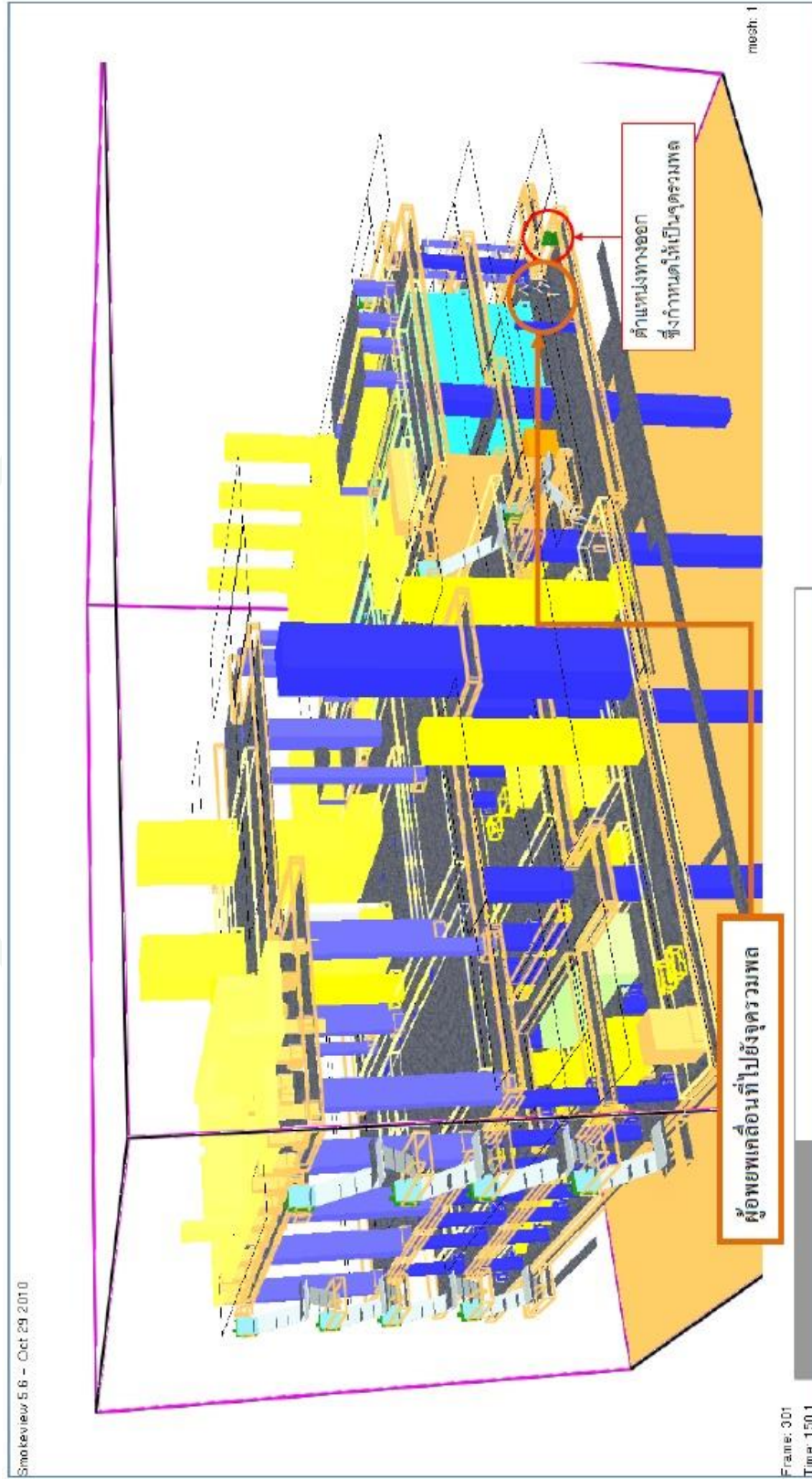
ภาพที่ 34 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 2



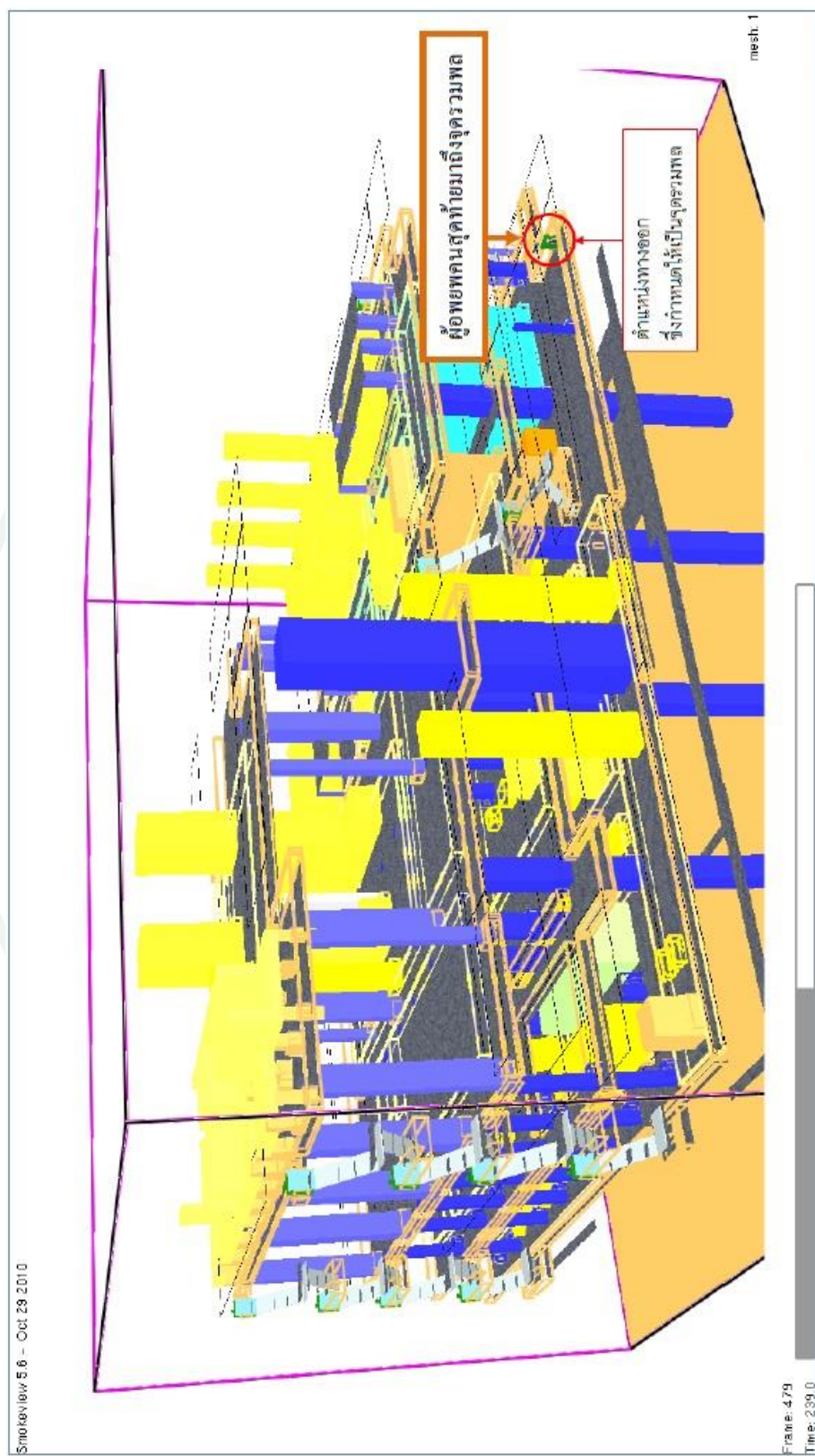
ภาพที่ 35 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 2



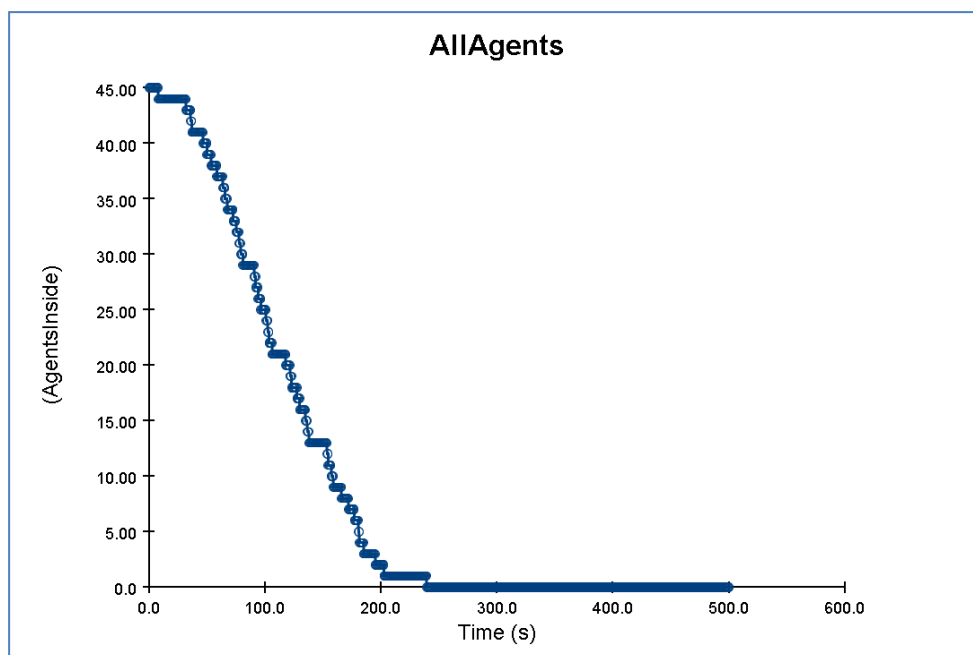
ภาพที่ 36 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 2



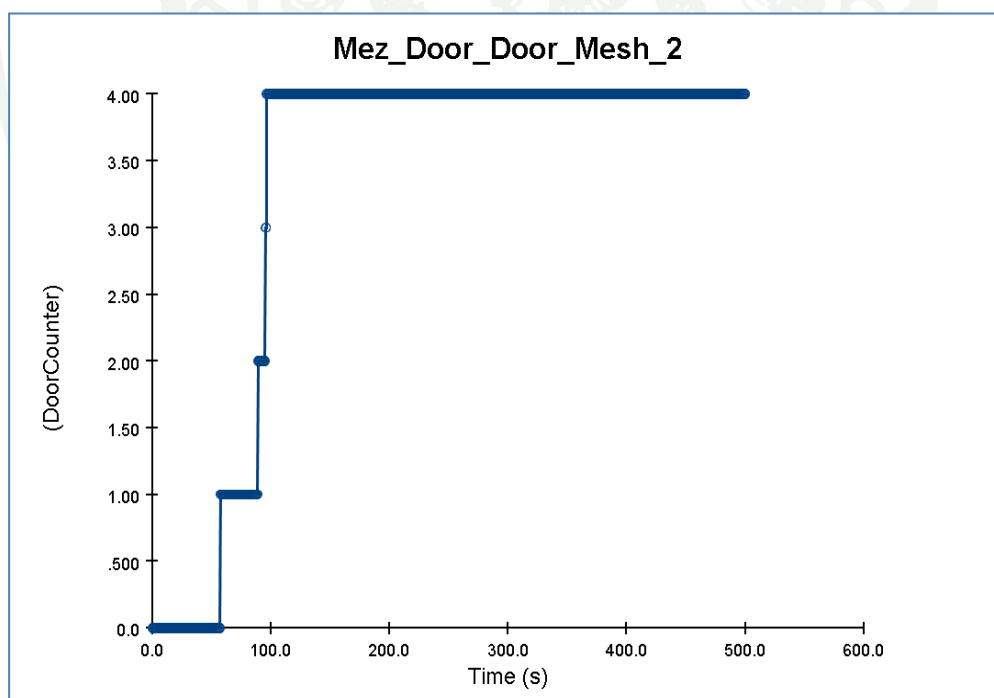
ภาพที่ 37 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @150 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 2



ภาพที่ 38 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @240 วินาที ของการ



ภาพที่ 39 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล



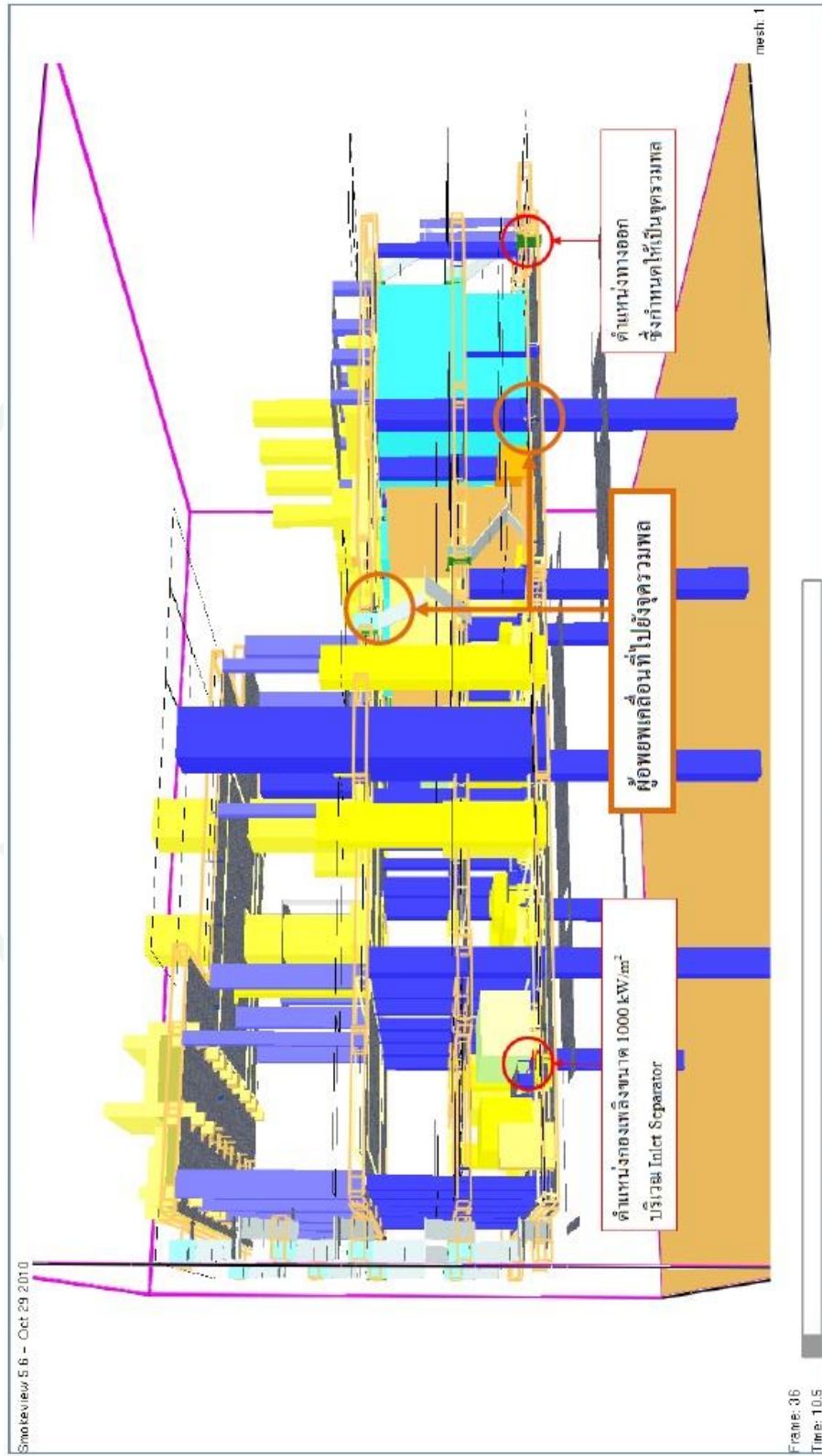
ภาพที่ 40 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

กรณีที่ 3 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ มีเหตุเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต กำหนดให้ผู้อพยพเป็นพนักงานที่ทำงานอยู่แต่ละชั้น ชั้นละ 15 คน ดังแสดงในตารางที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 207 วินาที หรือ 3.5 นาที โดยมีผู้อพยพจำนวน 5 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

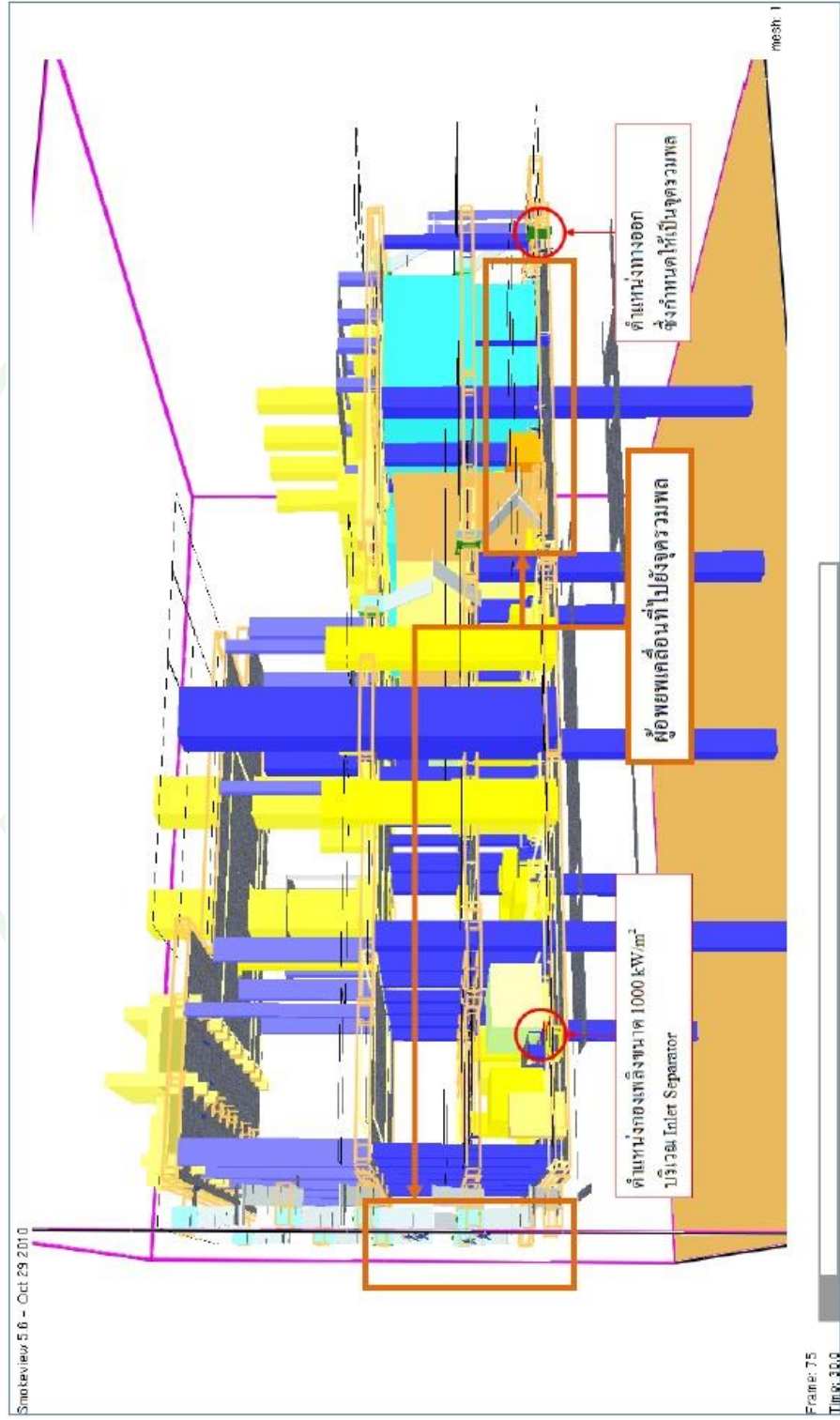
จากภาพที่ 41 – 45 แสดงถึงผู้อพยพในแบบจำลองเดินมายังจุดรวมพลในแต่ละช่วงเวลา ภาพที่ 46 แสดงผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลใช้เวลา 207 วินาที (3.5 นาที)

ภาพที่ 47 แสดงกราฟจำนวนผู้อพยพ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ที่ผู้อพยพเดินมาถึงจุดรวมพล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพลใช้เวลาประมาณ 25 วินาที ในช่วงนาทีที่ 1 มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 11 คน เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 30 คน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 36 คน และผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลใช้เวลา 3.5 นาที

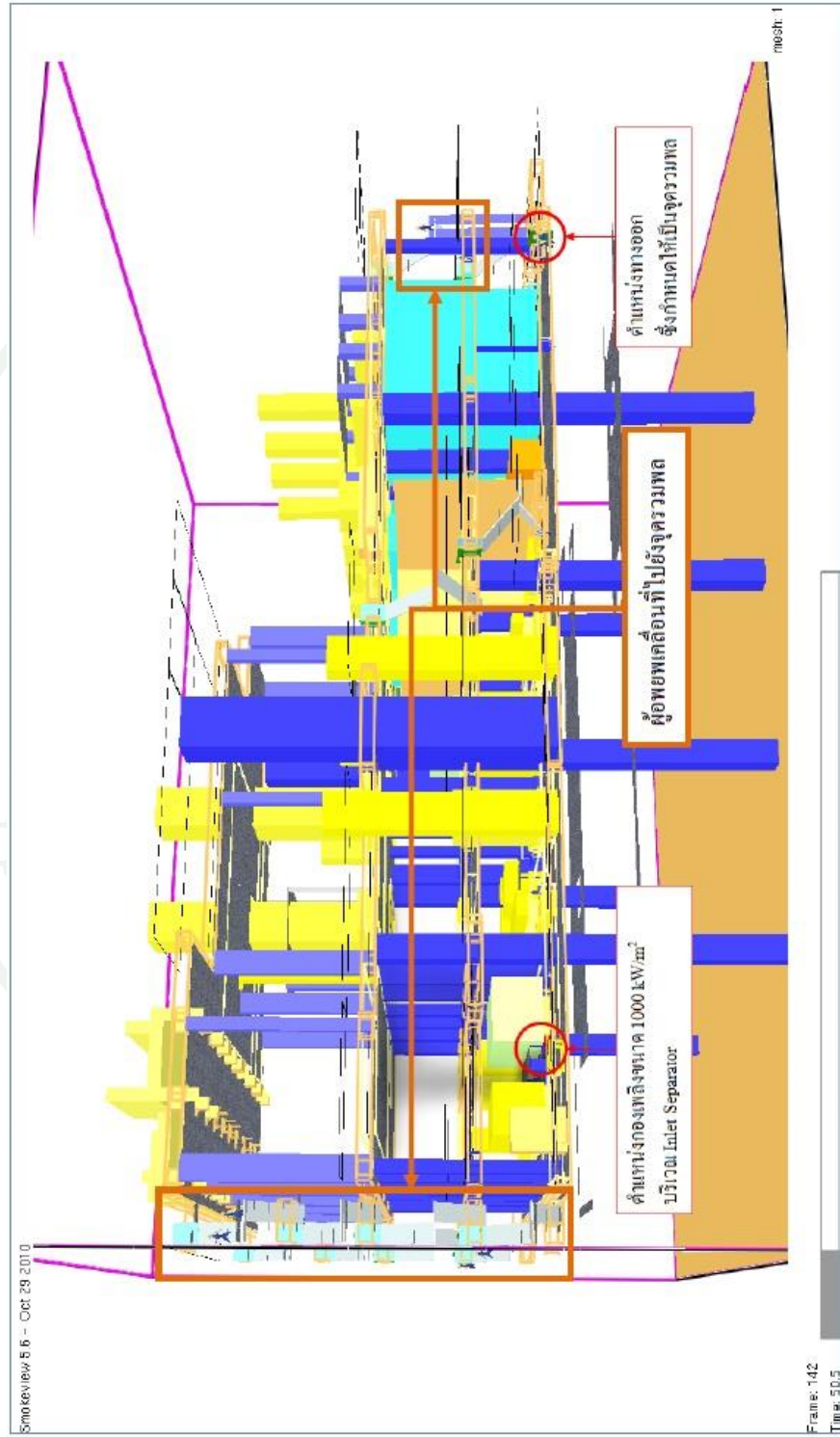
ภาพที่ 48 แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนผู้อพยพ 5 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ซึ่งเป็นบริเวณที่กำหนดให้มีเพลิงไหม้



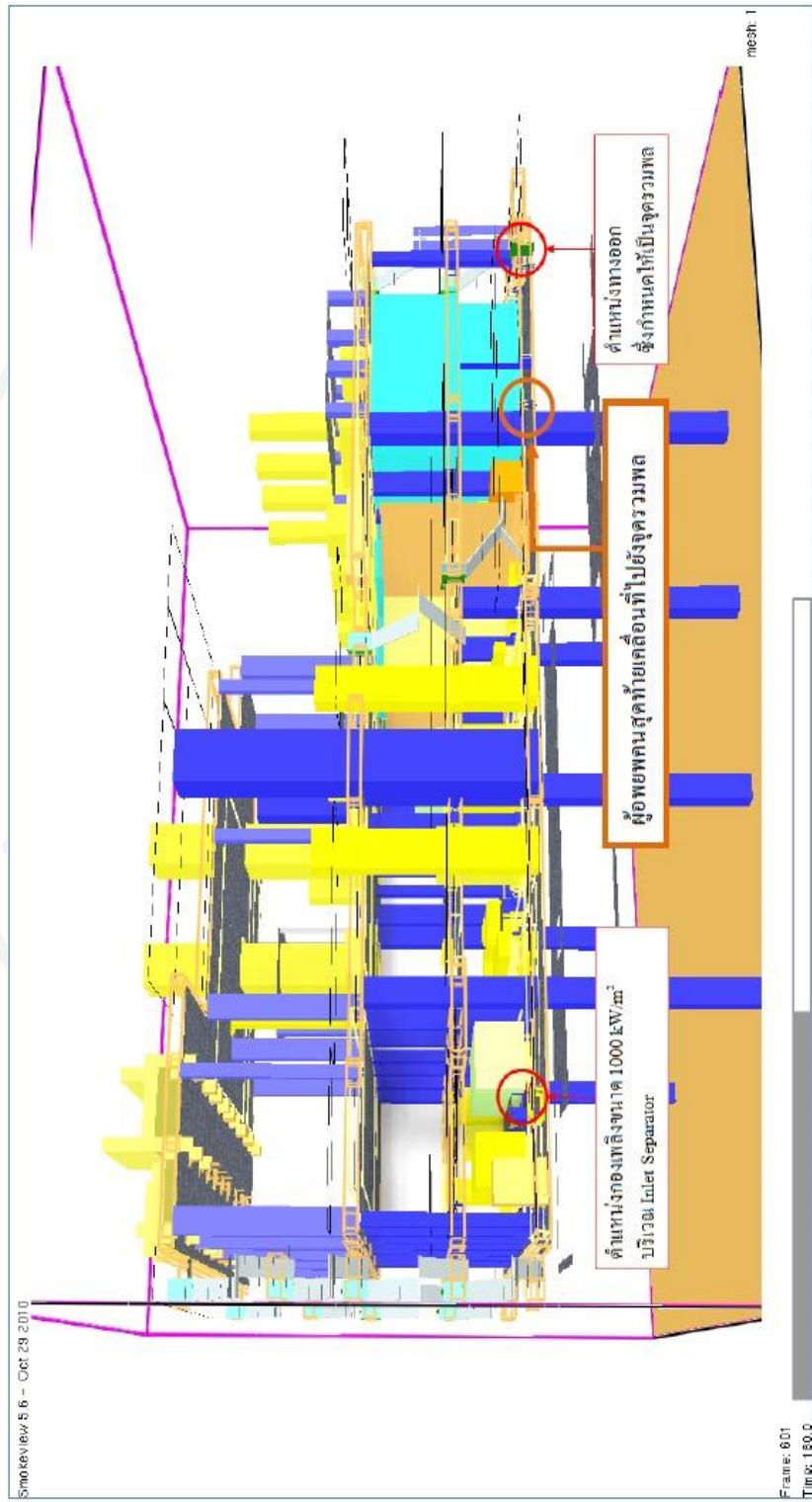
ภาพที่ 41 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 3



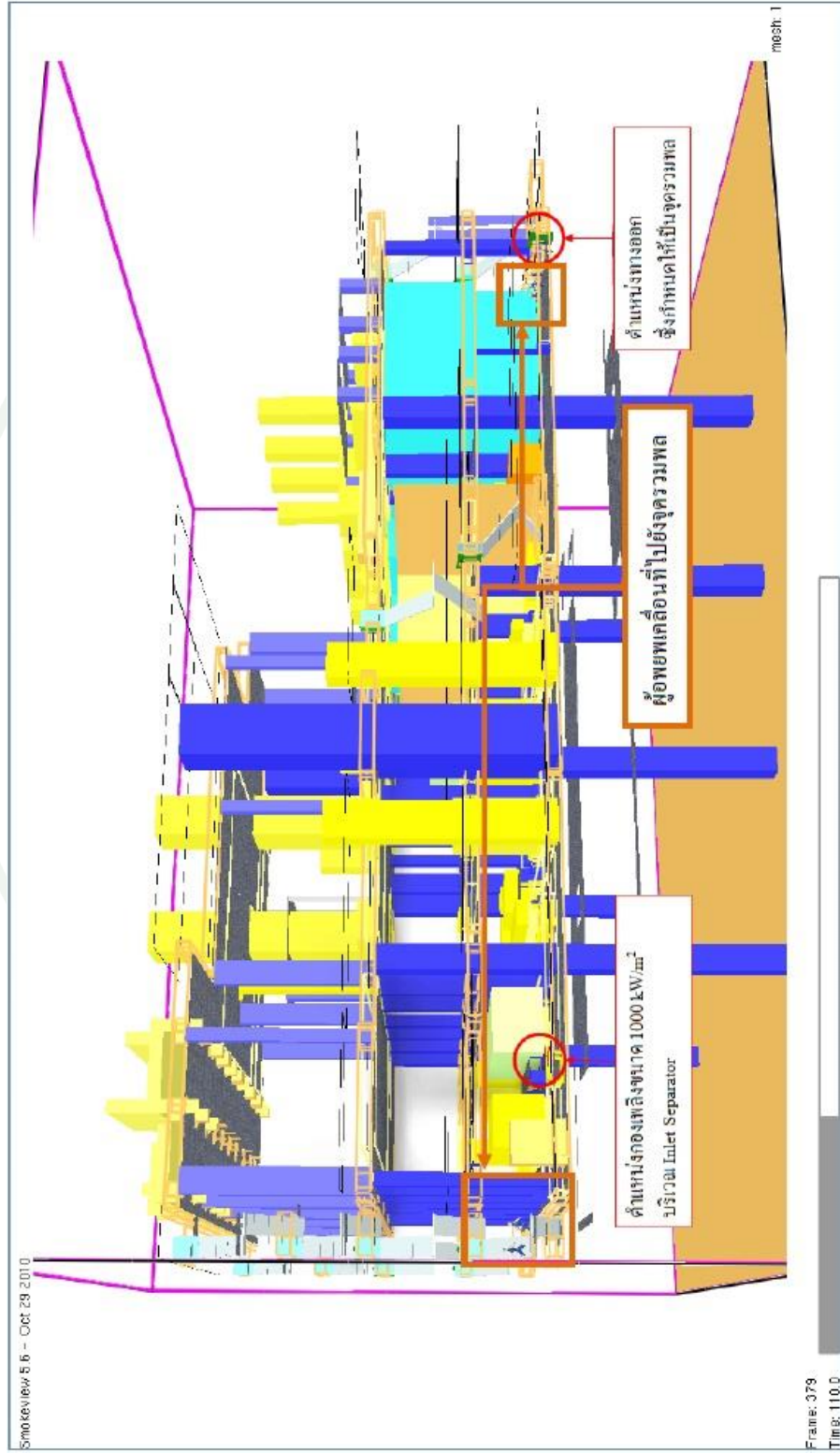
ภาพที่ 42 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 3



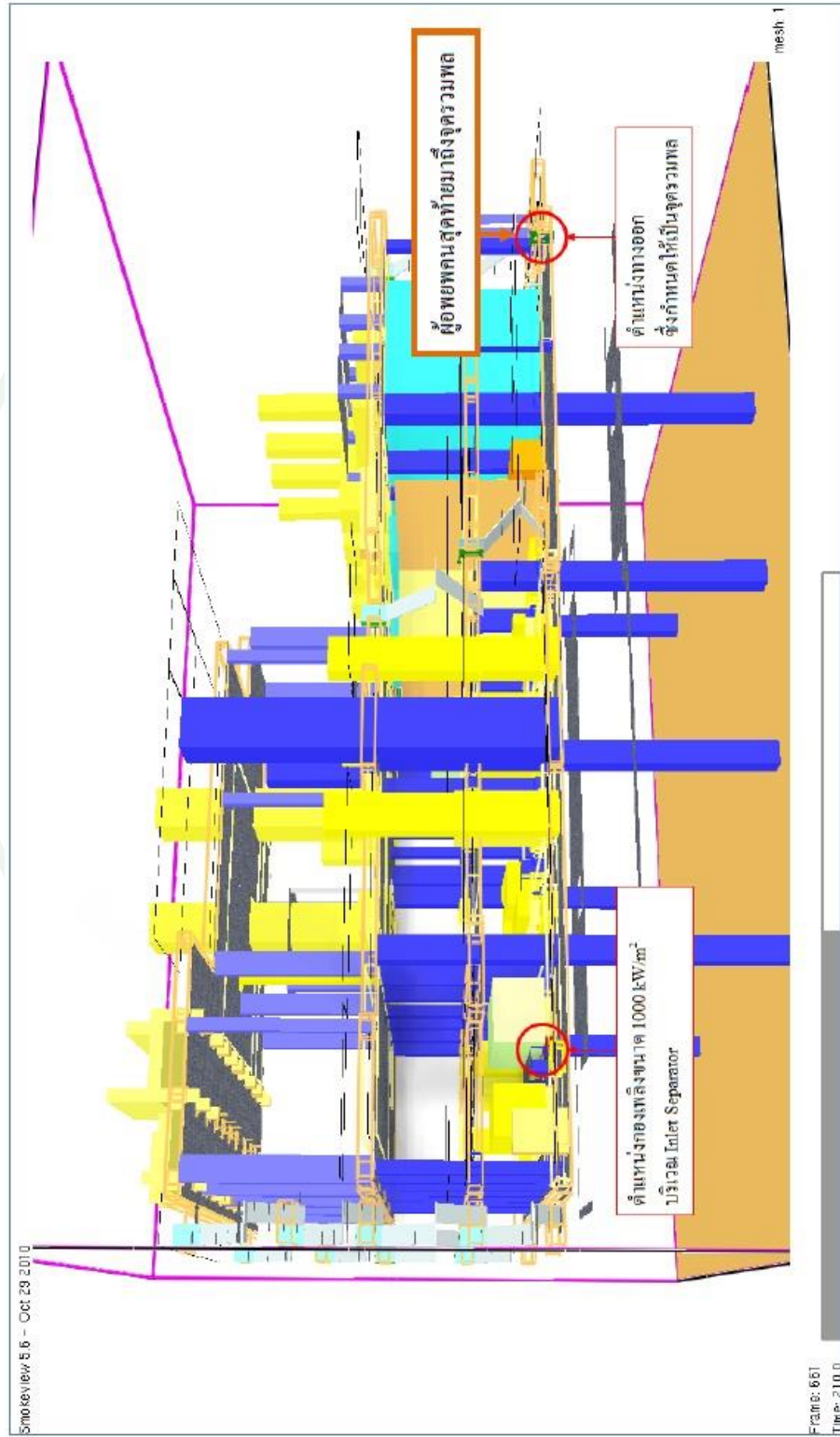
ภาพที่ 43 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 3



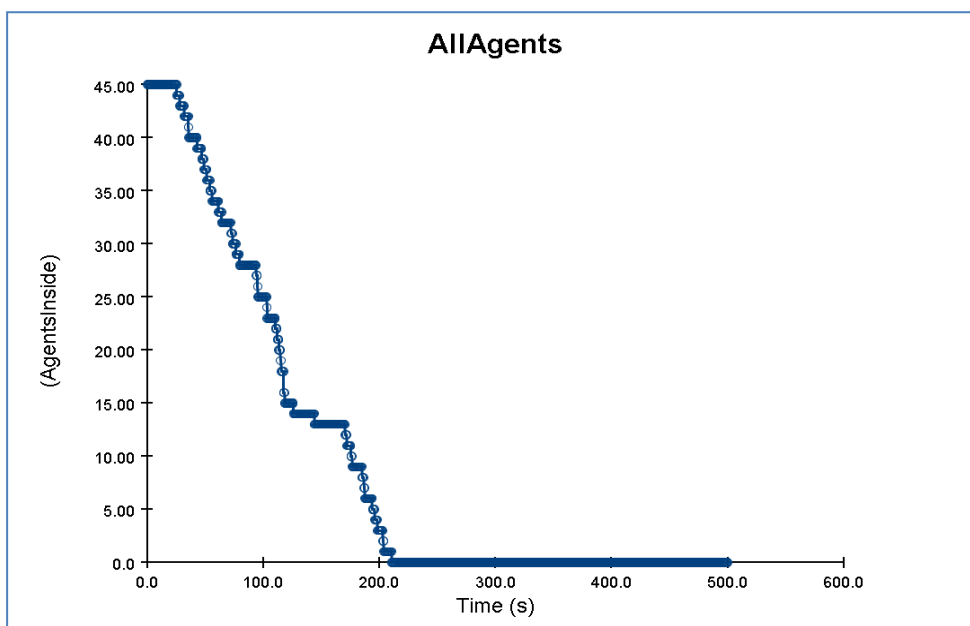
ภาพที่ 44 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @110 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 3



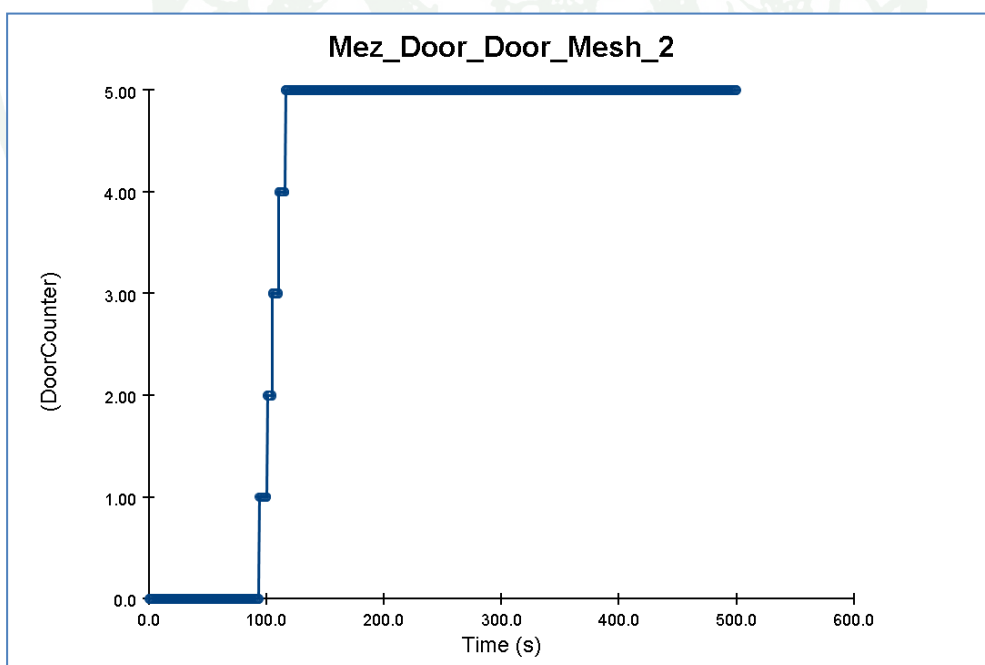
ภาพที่ 45 แสดงการอพยพของผู้พลคนสุดท้าย @180 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 3



ภาพที่ 46 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @207 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 3



ภาพที่ 47 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล



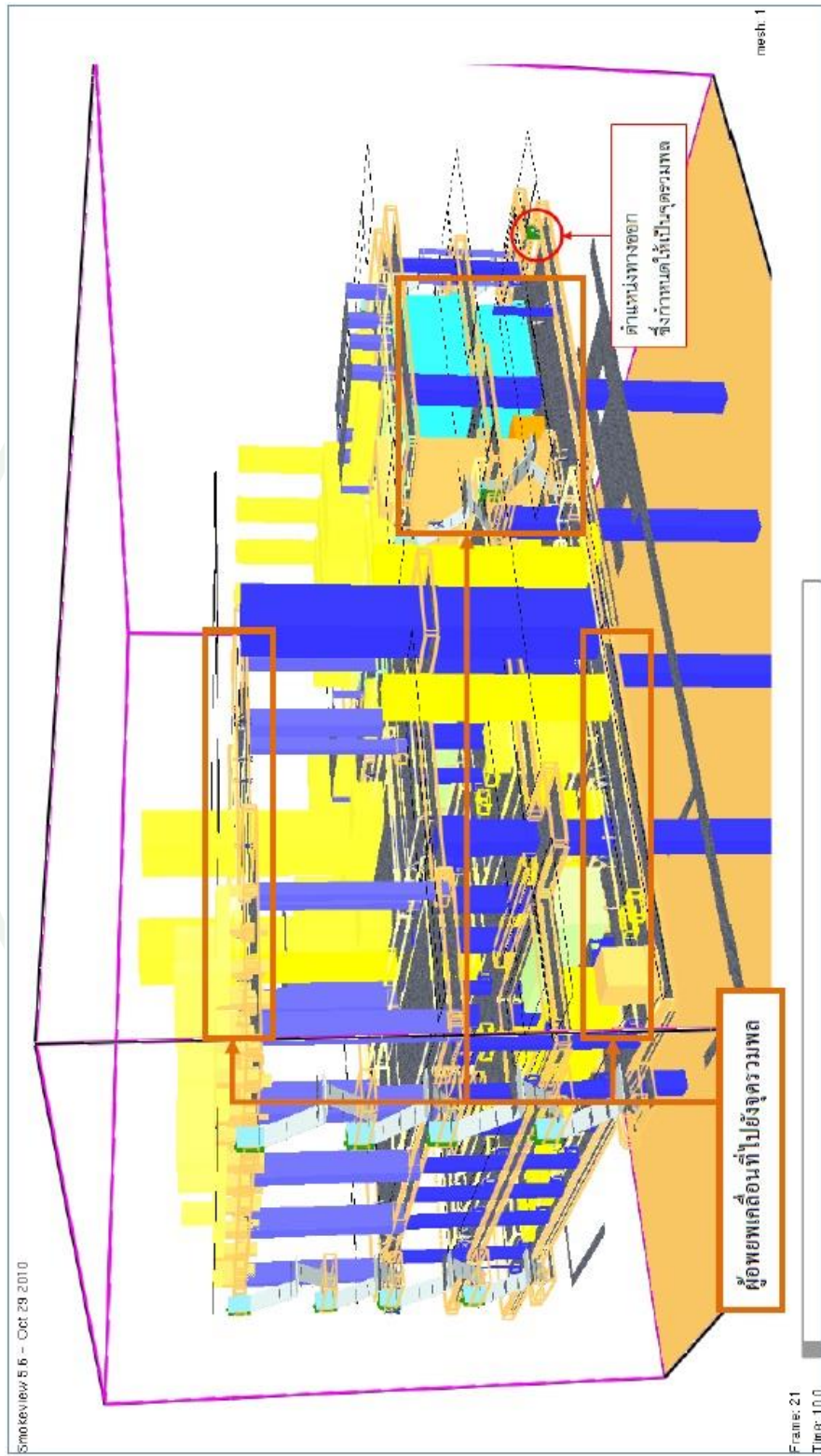
ภาพที่ 48 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

กรณีที่ 4 ใช้จำนวนผู้อพยพทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต โดยกำหนดให้ผู้อพยพเป็นพนักงานที่ทำงานอยู่แต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 283 วินาที หรือประมาณ 4.7 นาที

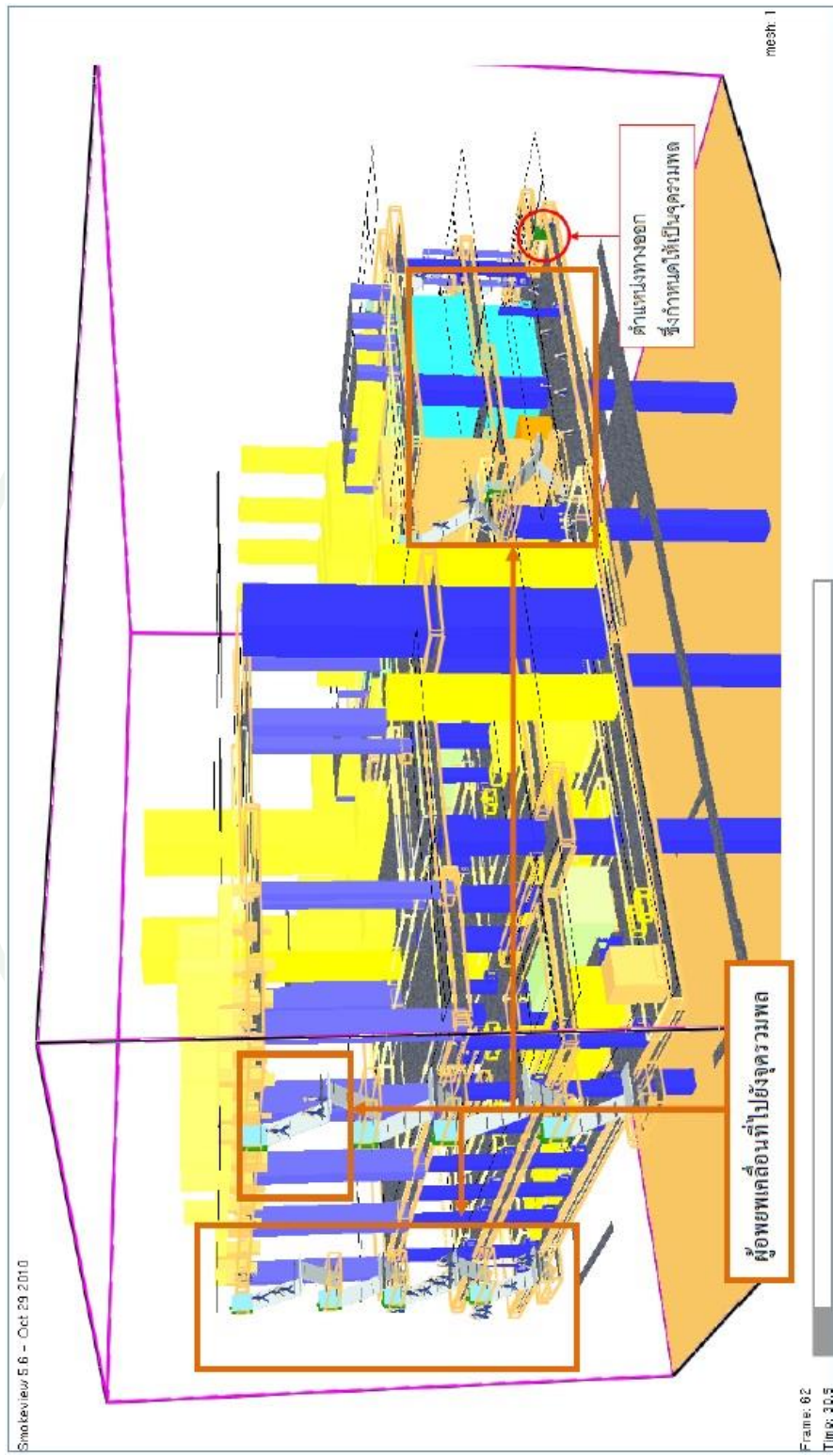
จากภาพที่ 49 – 57 แสดงถึงผู้อพยพในแบบจำลองเดินมายังจุดรวมพลในแต่ละช่วงเวลาพบว่าช่วงเวลาประมาณ วินาทีที่ 60 – 180 จะมีการชะลอตัวของผู้อพยพที่บริเวณทางออกไปยังจุดรวมพล ดังแสดงในภาพที่ 52 – 56 และในภาพที่ 58 แสดงผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลใช้เวลา 283 วินาที (4.7 นาที)

ภาพที่ 59 แสดงกราฟจำนวนผู้อพยพ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ที่ผู้อพยพเดินมาถึงจุดรวมพล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพลใช้เวลาประมาณ 9 วินาที ในช่วงนาทีที่ 1 มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 24 คน เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 72 คน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 110 คน เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 143 คน และผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลใช้เวลา 4.7 นาที

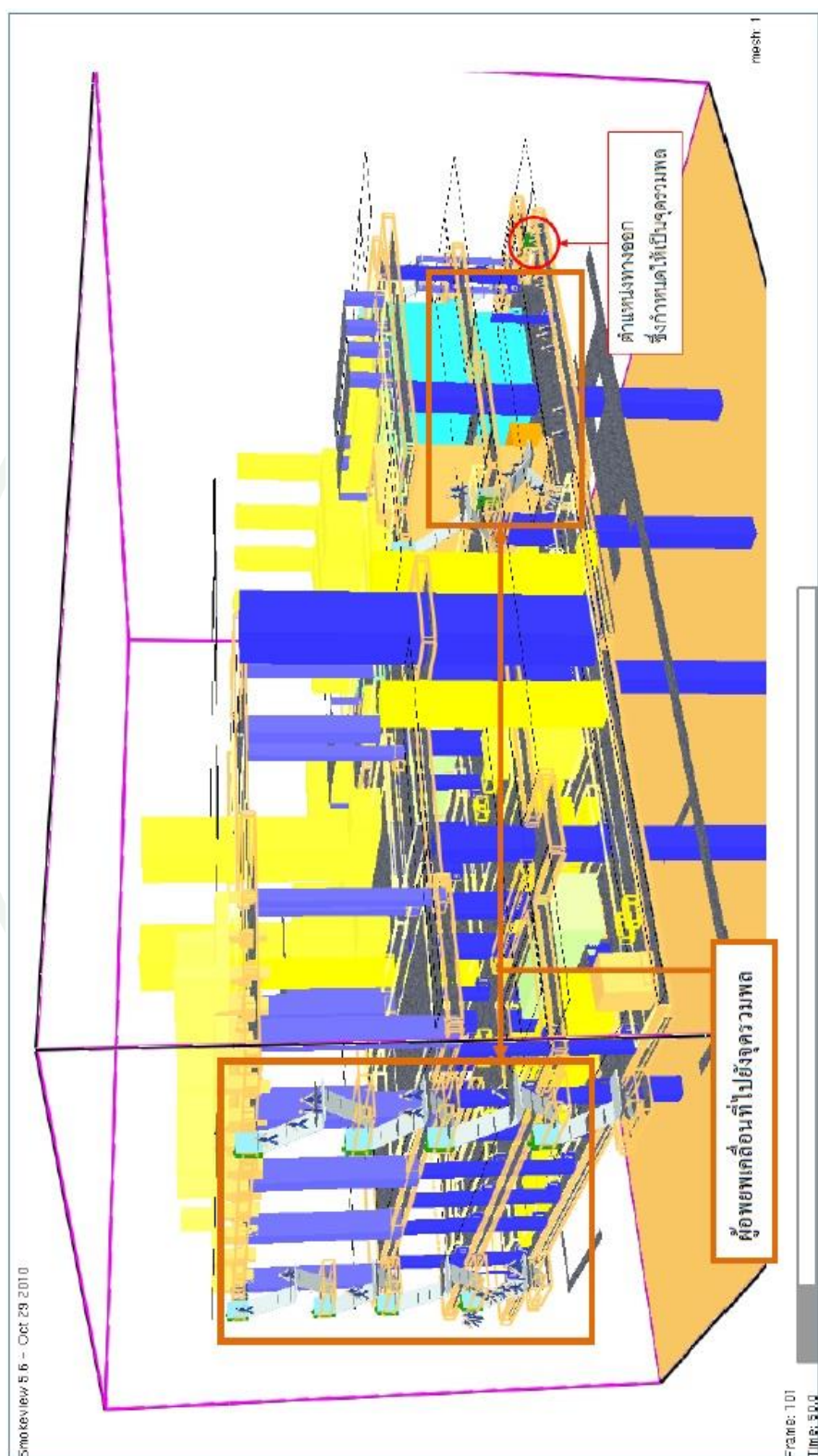
ภาพที่ 60 แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนผู้อพยพ 10 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ซึ่งเป็นบริเวณที่กำหนดให้มีเพลิงไหม้



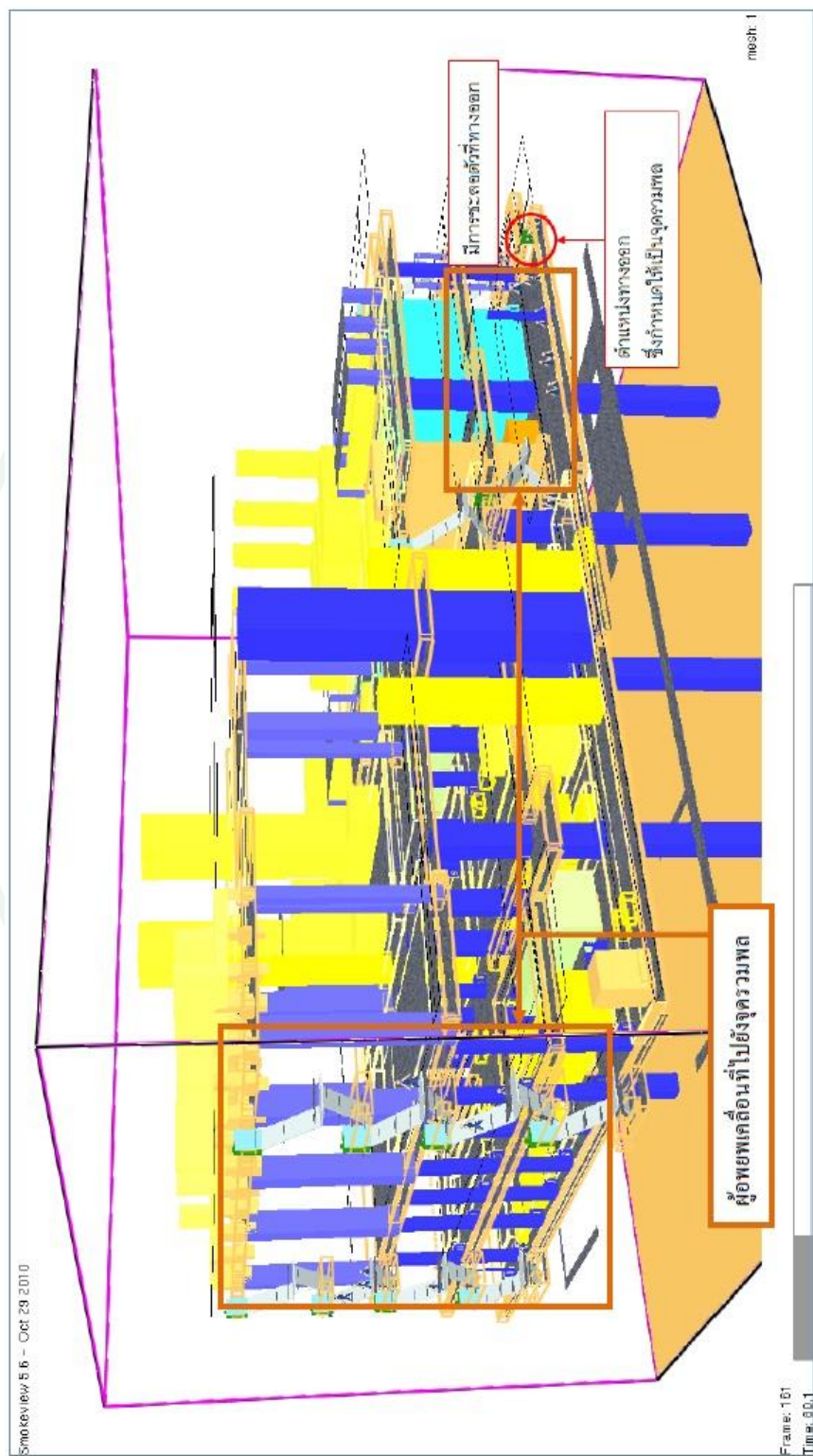
ภาพที่ 49 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



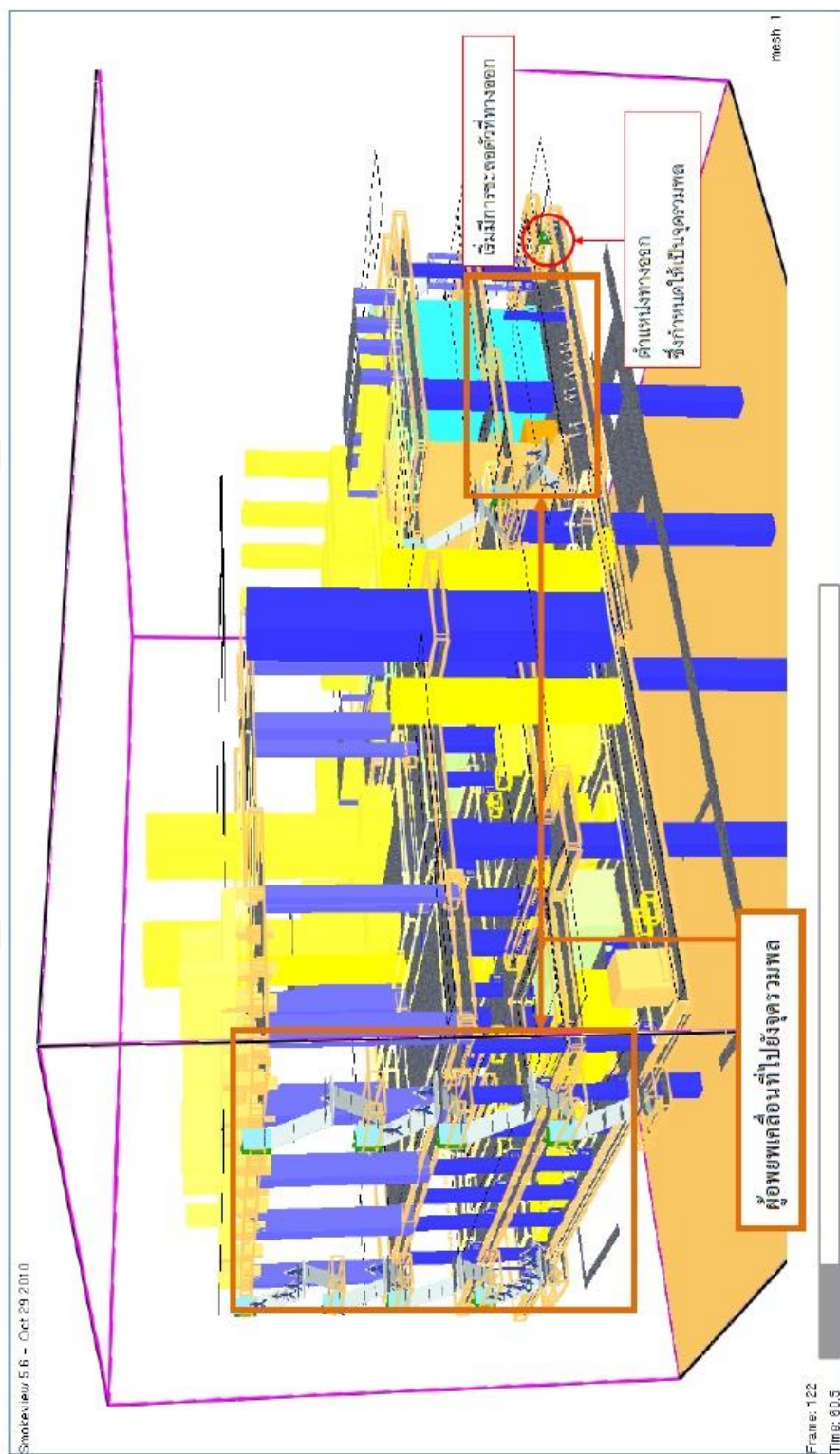
ภาพที่ 50 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @30 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



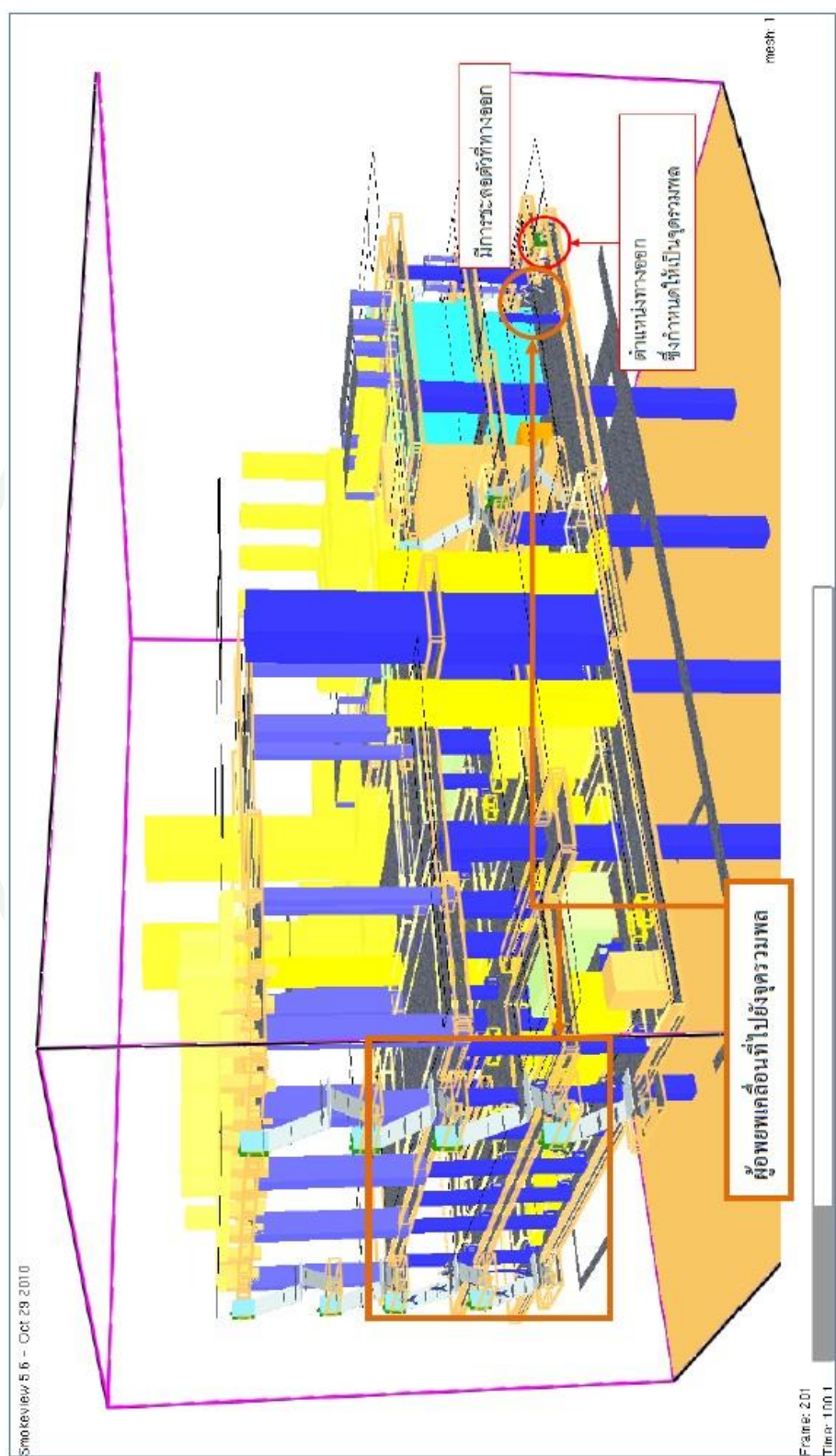
ภาพที่ 51 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @50 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



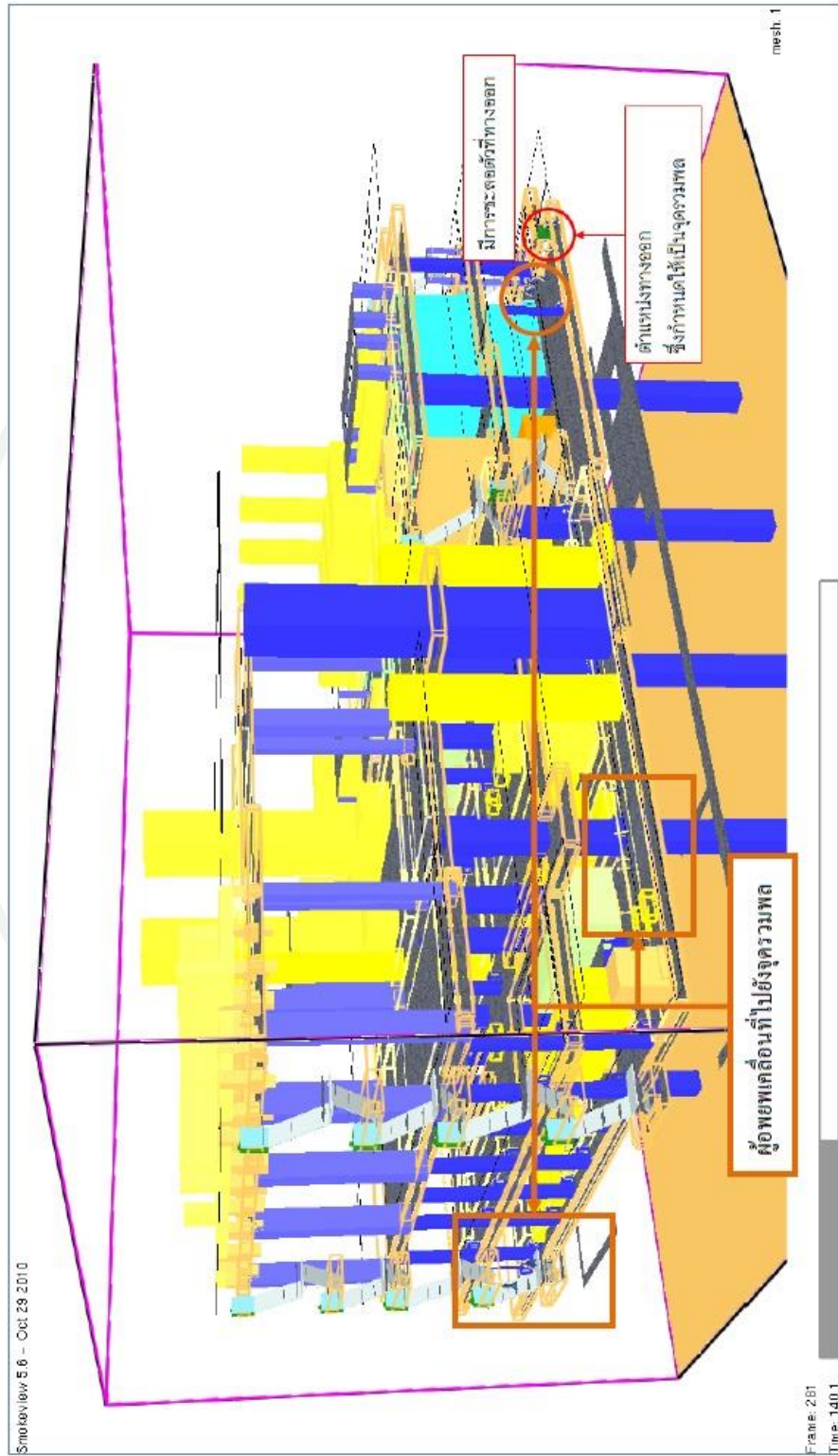
ภาพที่ 52 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @60 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



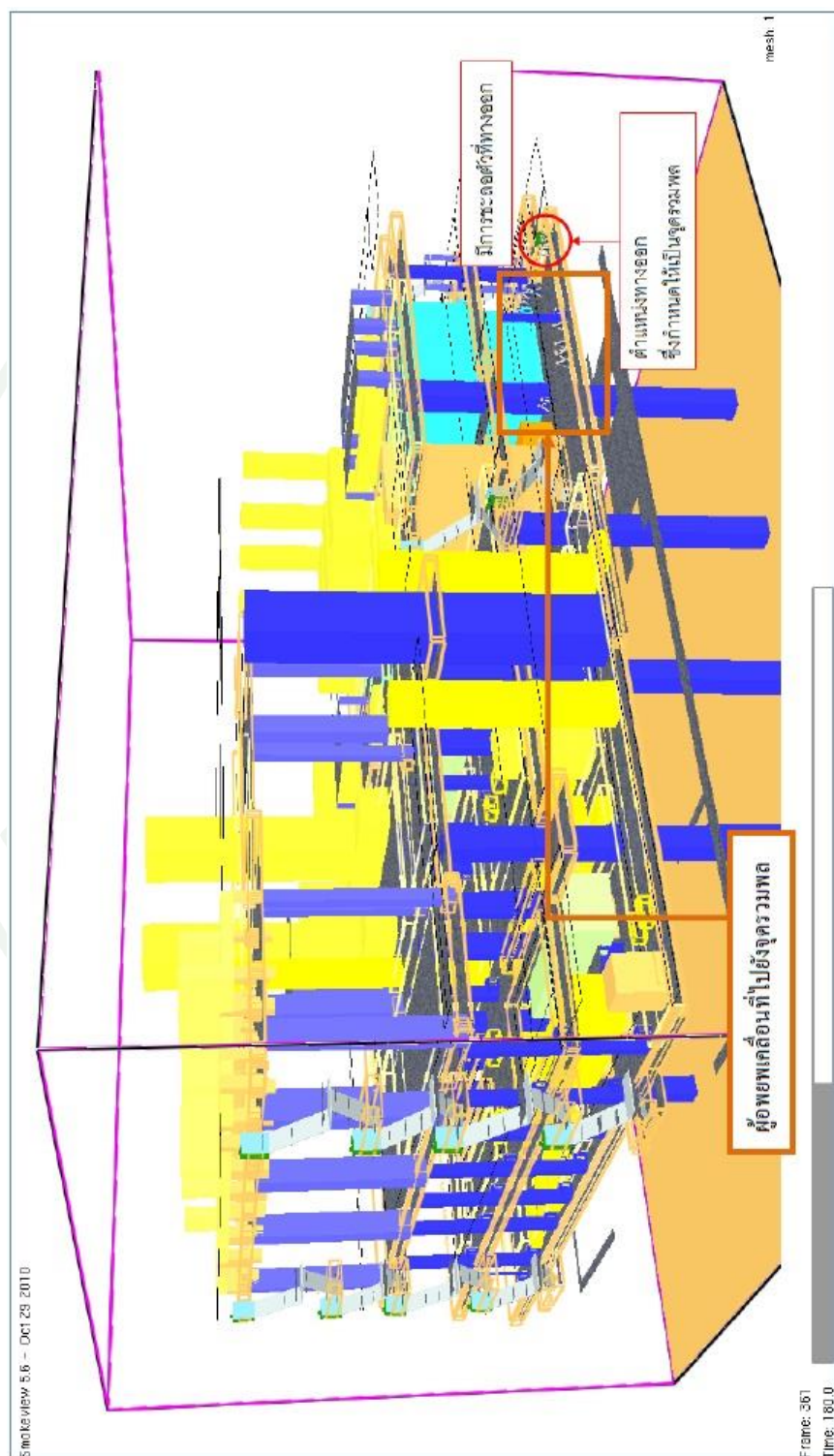
ภาพที่ 53 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



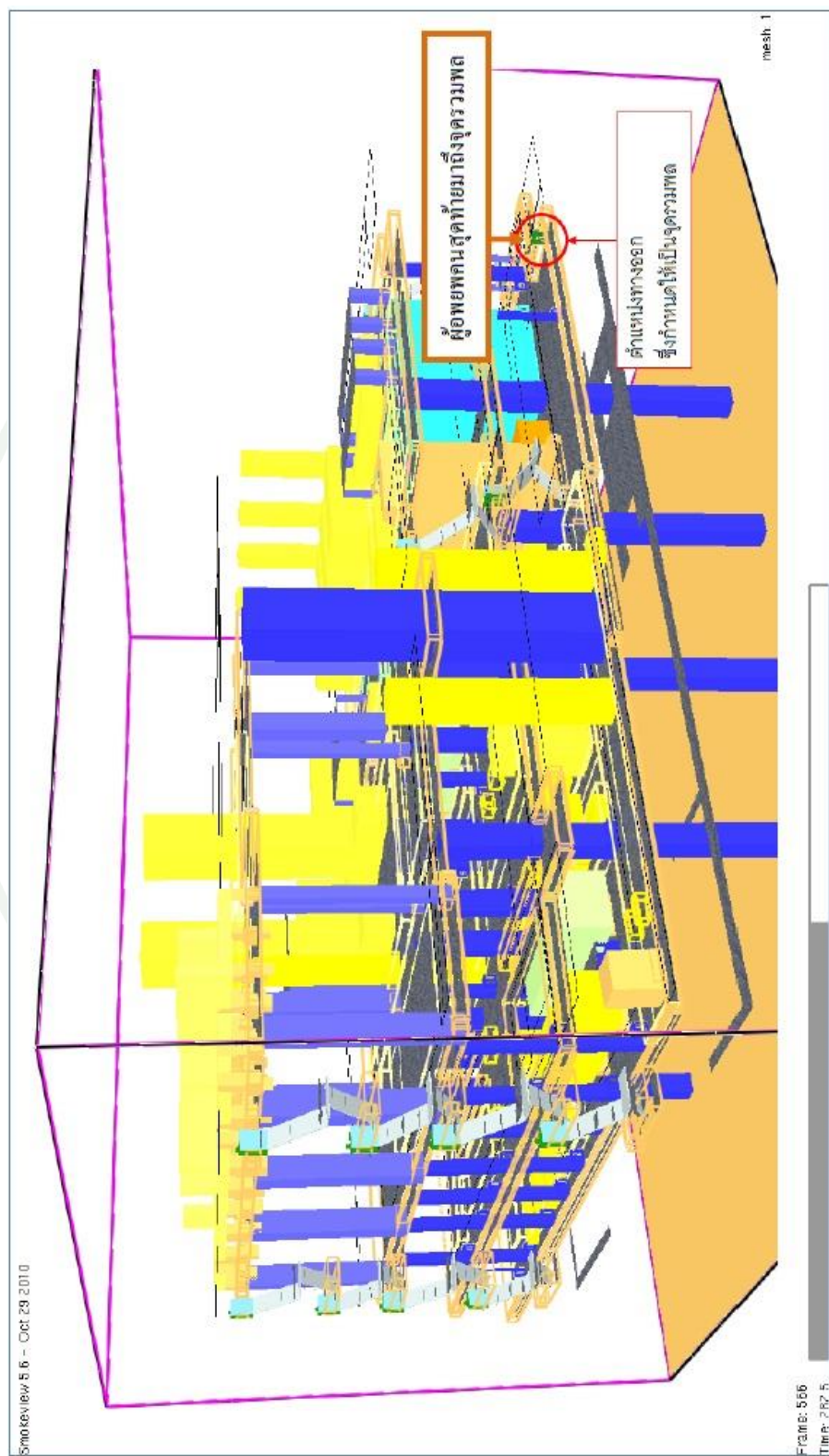
ภาพที่ 54 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @100 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



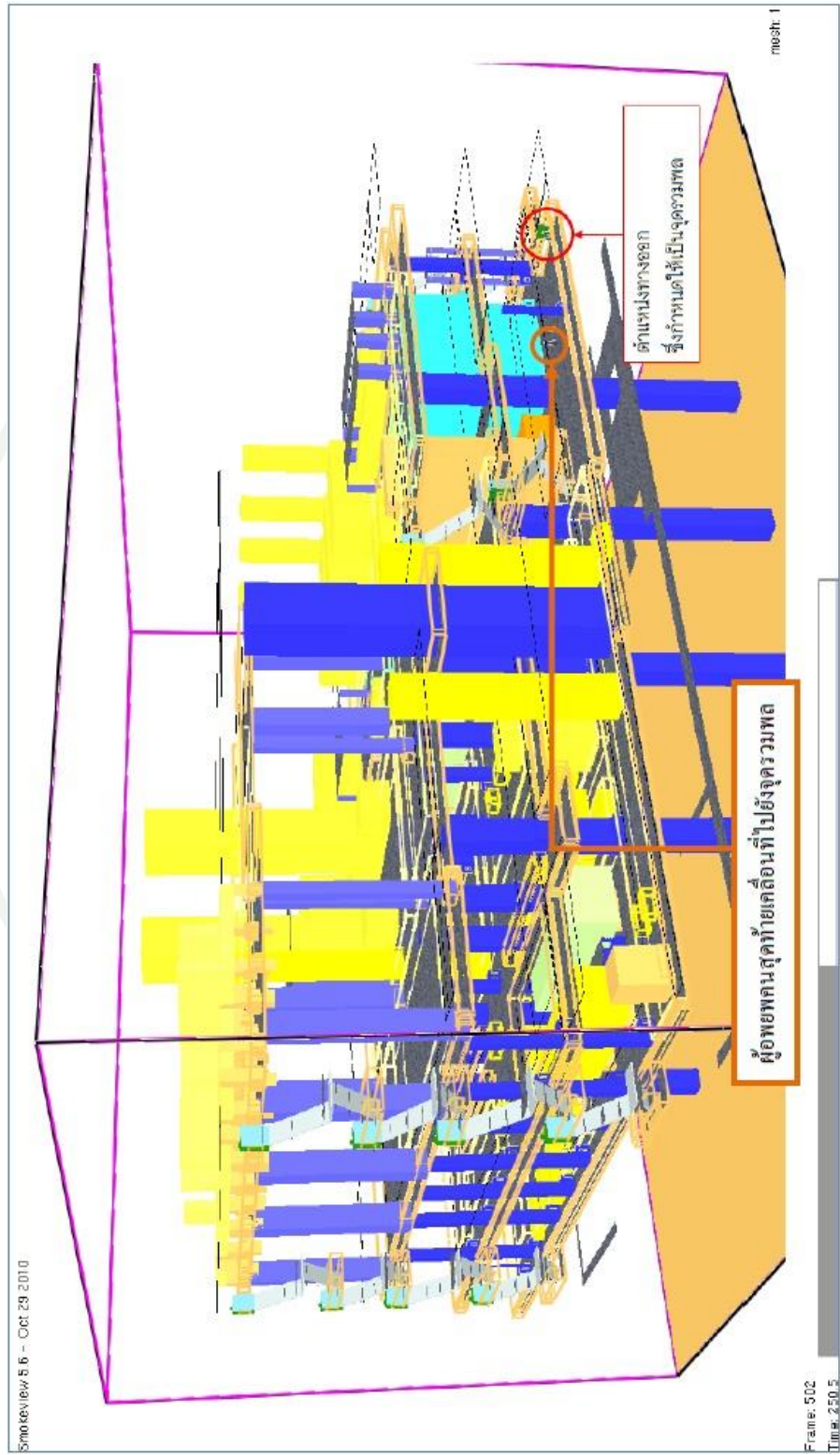
ภาพที่ 55 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @140 วินาที ของการจำลองในกรณี 4



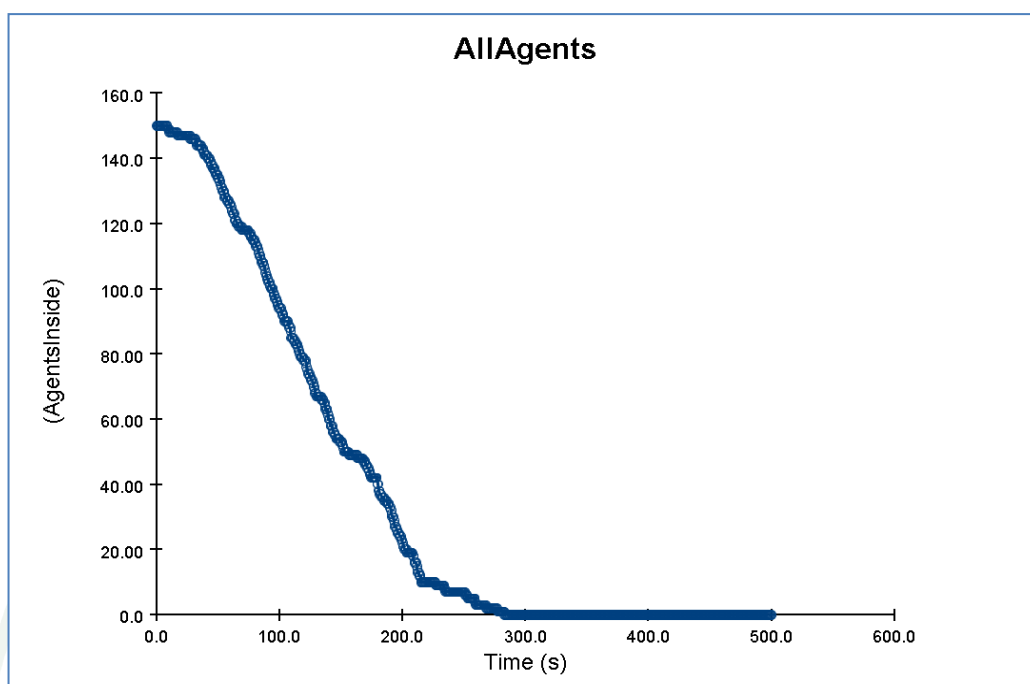
ภาพที่ 56 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @180 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



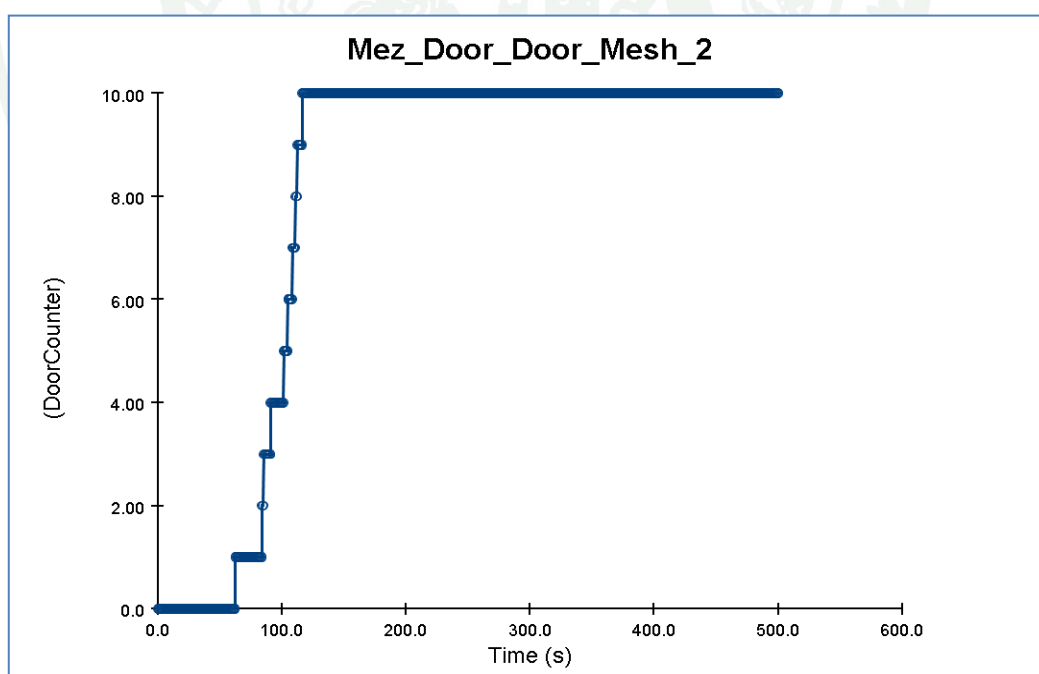
ภาพที่ 57 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @250 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 4



ภาพที่ 58 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @283 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 4



ภาพที่ 59 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล



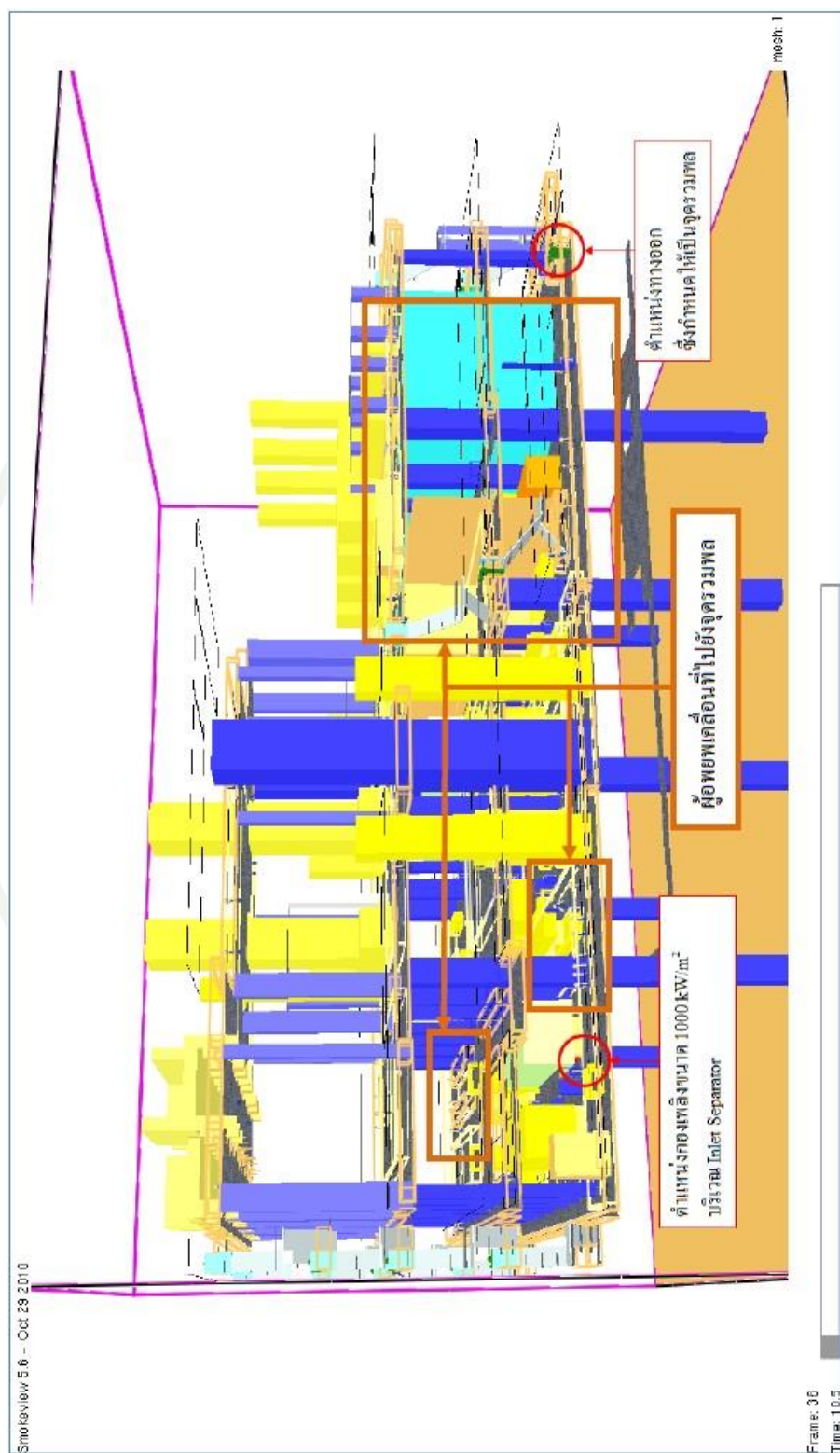
ภาพที่ 60 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

กรณีที่ 5 ใช้จำนวนผู้อพยพทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิต เพื่อซ่อมบำรุงประจำปี มีเหตุเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต โดยกำหนดให้ผู้อพยพเป็นพนักงานที่ทำงานอยู่แต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 280 วินาที หรือประมาณ 4.6 นาที โดยมีผู้อพยพจำนวน 10 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

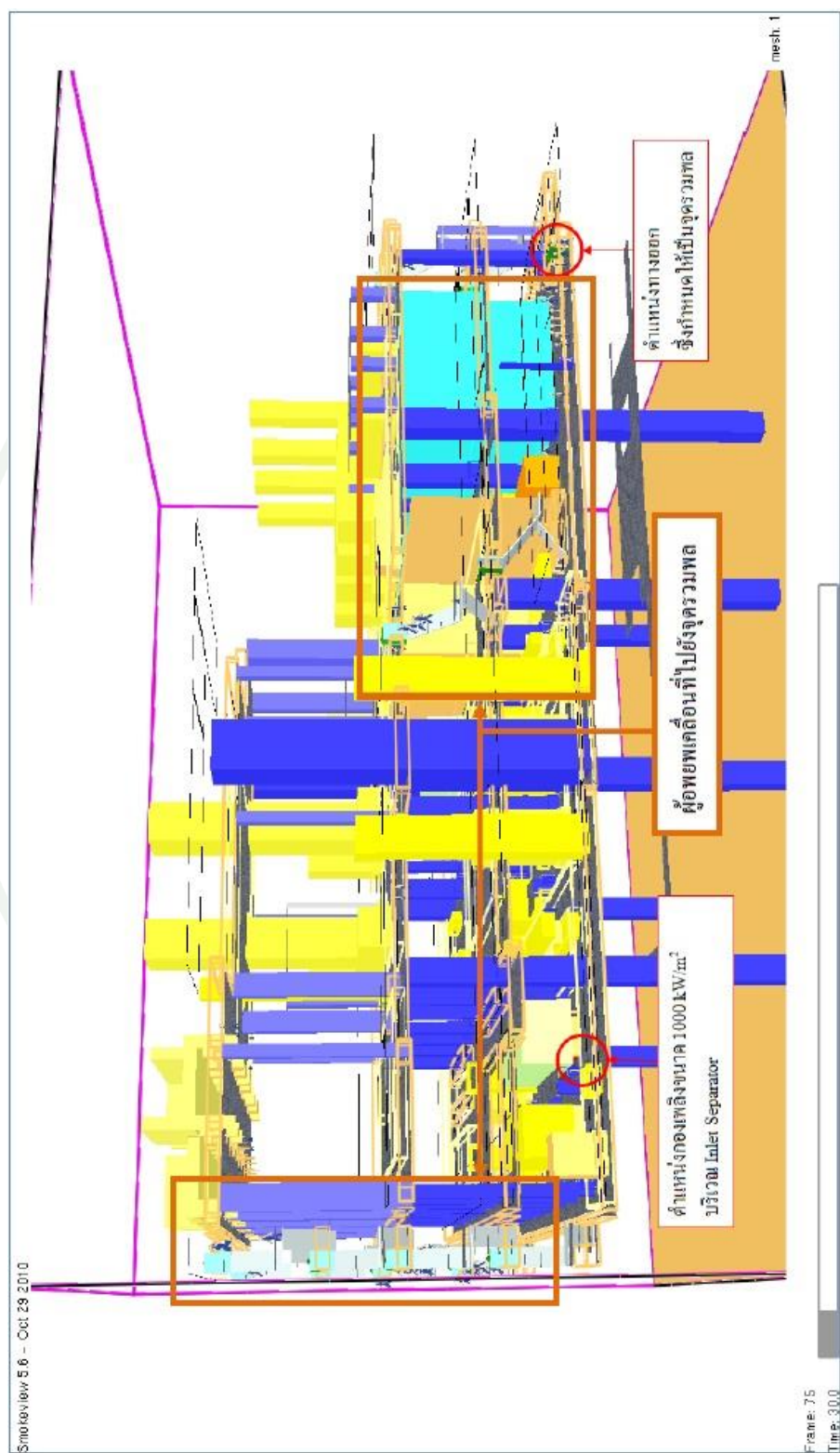
จากภาพที่ 61 – 70 แสดงถึงผู้อพยพในแบบจำลองเดินมายังจุดรวมพลในแต่ละช่วงเวลา พบว่าช่วงเวลาประมาณวินาทีที่ 80 – 180 จะมีการชะลอตัวของผู้อพยพที่บริเวณทางออกไปยังจุดรวมพล ดังแสดงในภาพที่ 64 – 68 และภาพที่ 71 แสดงผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 280 วินาที (4.6 นาที)

ภาพที่ 72 แสดงกราฟจำนวนผู้อพยพ เปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ที่ผู้อพยพเดินมาถึงจุดรวมพล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้อพยพคนแรกเดินมาถึงจุดรวมพลที่เวลาประมาณ 9 วินาที ในช่วงนาทีที่ 1 มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 26 คน เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 66 คน เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 120 คน เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที มีผู้อพยพเดินผ่านทางออกที่จุดรวมพลจำนวน 142 คน และผู้อพยพคนสุดท้ายในแบบจำลองเดินถึงจุดรวมพลที่เวลา 4.6 นาที

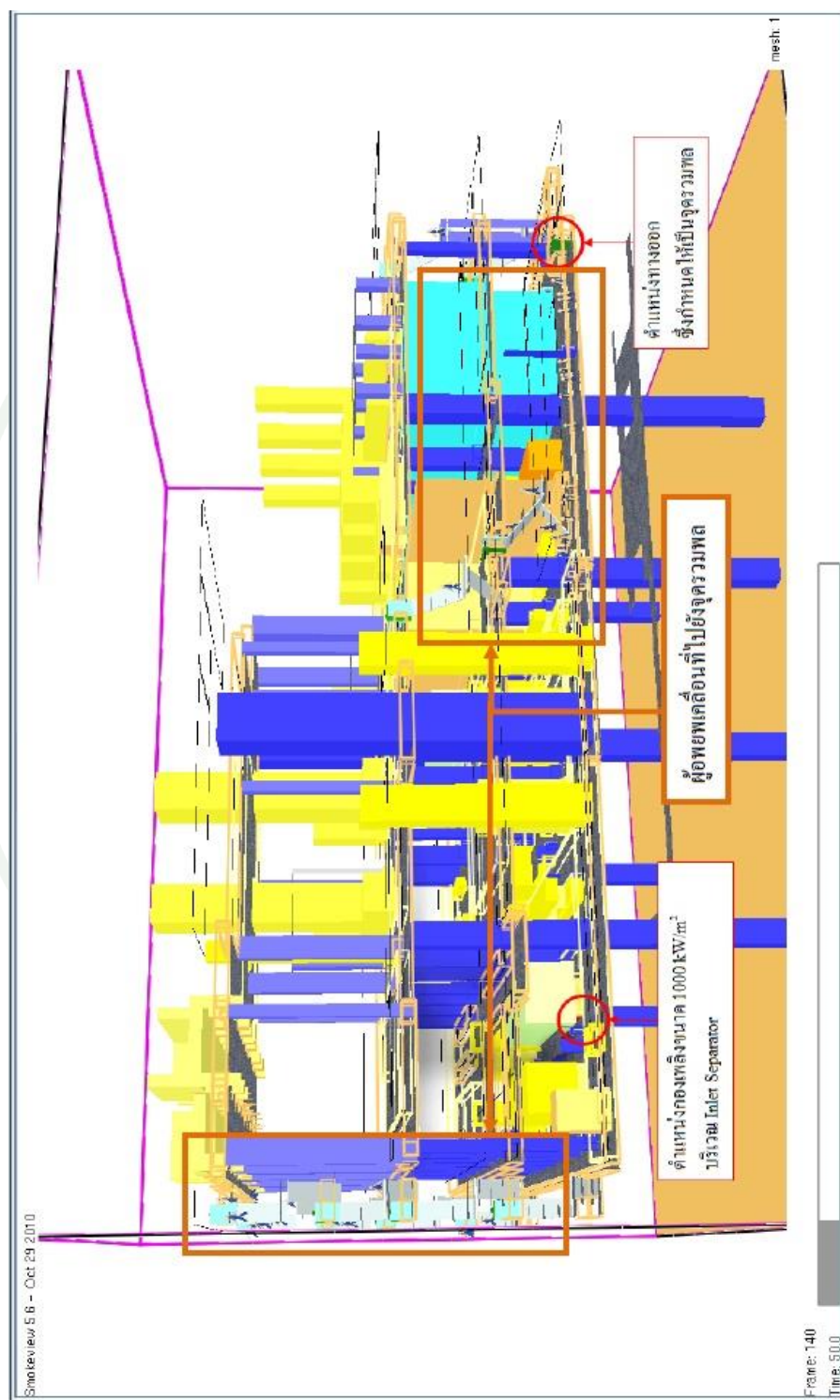
ภาพที่ 73 แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนผู้อพยพ 10 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ซึ่งเป็นบริเวณที่กำหนดให้มีเพลิงไหม้



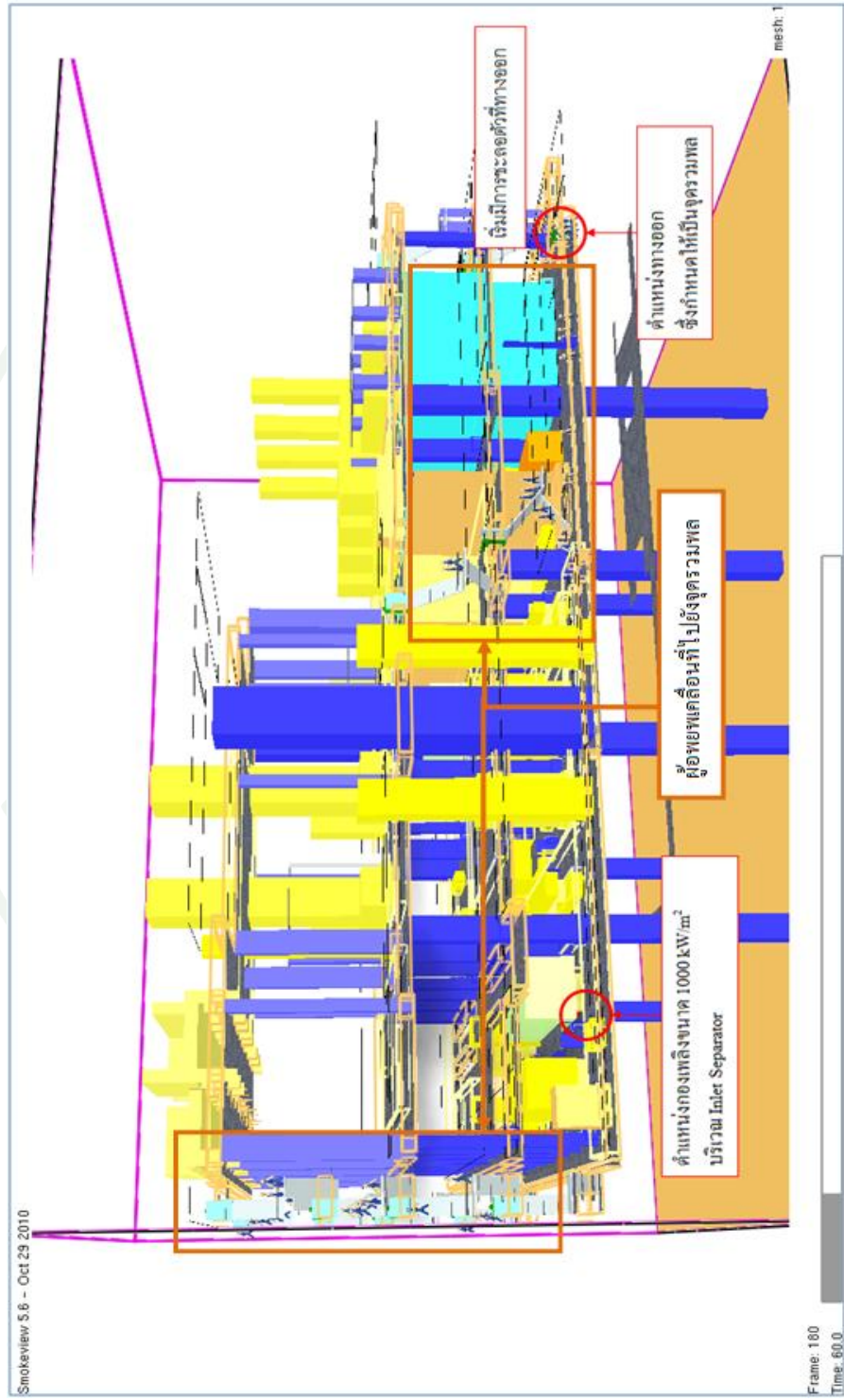
ภาพที่ 61 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @10 วินาที ของการจำลองในกรณี 5



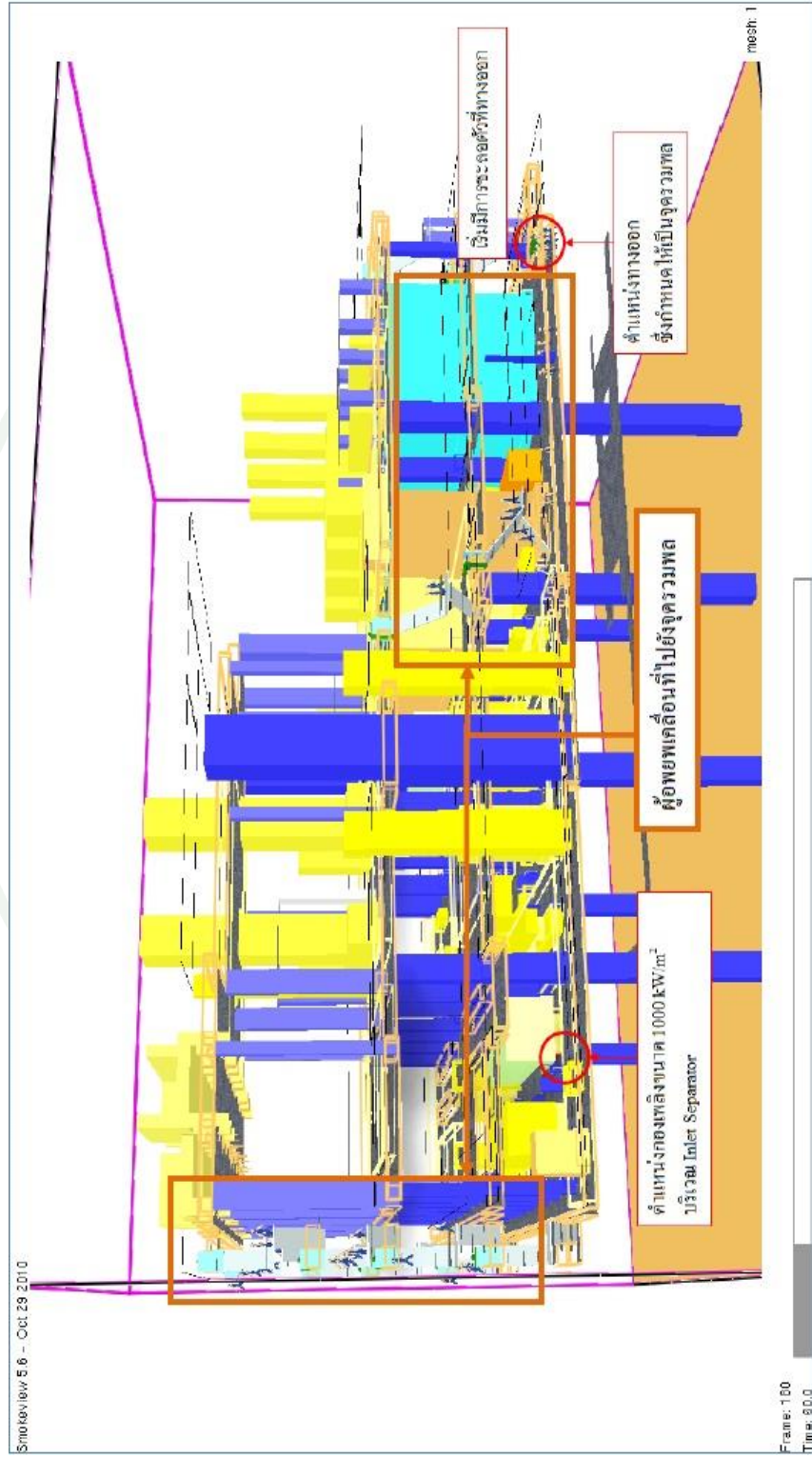
ภาพที่ 62 แสดงการอพยพของผู้อพยพ ๑๓0 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



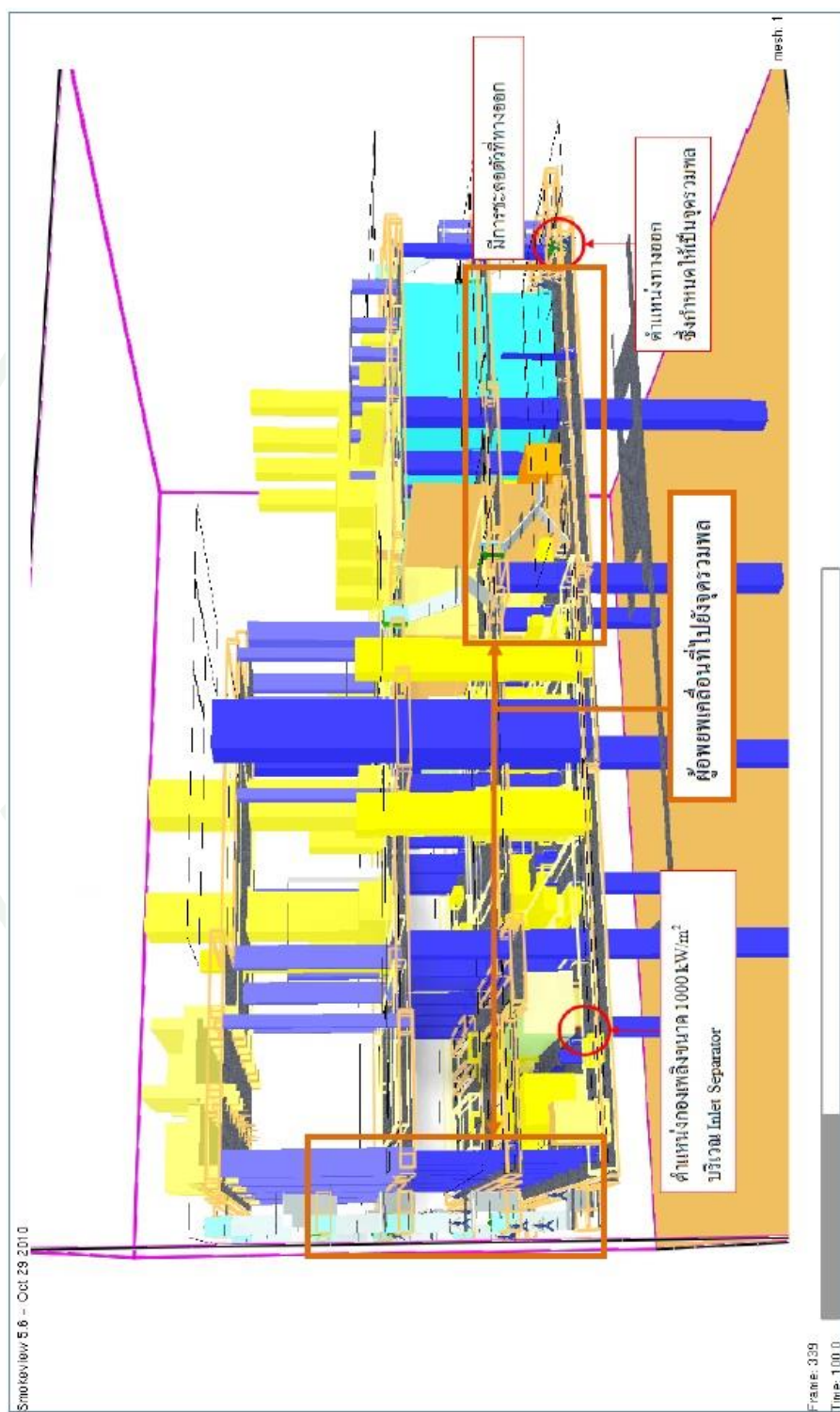
ภาพที่ 63 แสดงการอพยพของผู้อพยพ ๑๕๐ วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5



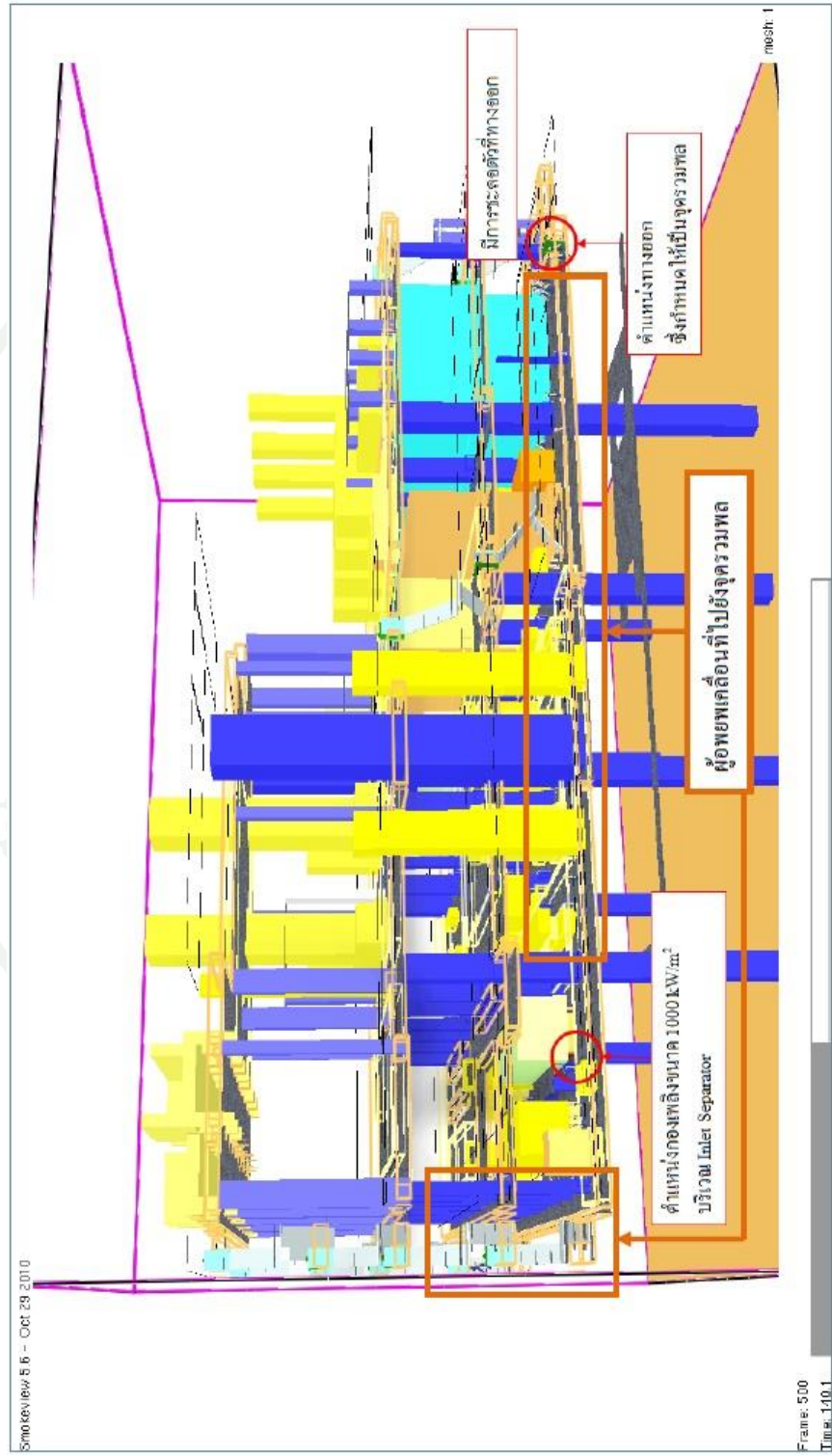
ภาพที่ 64 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @60 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



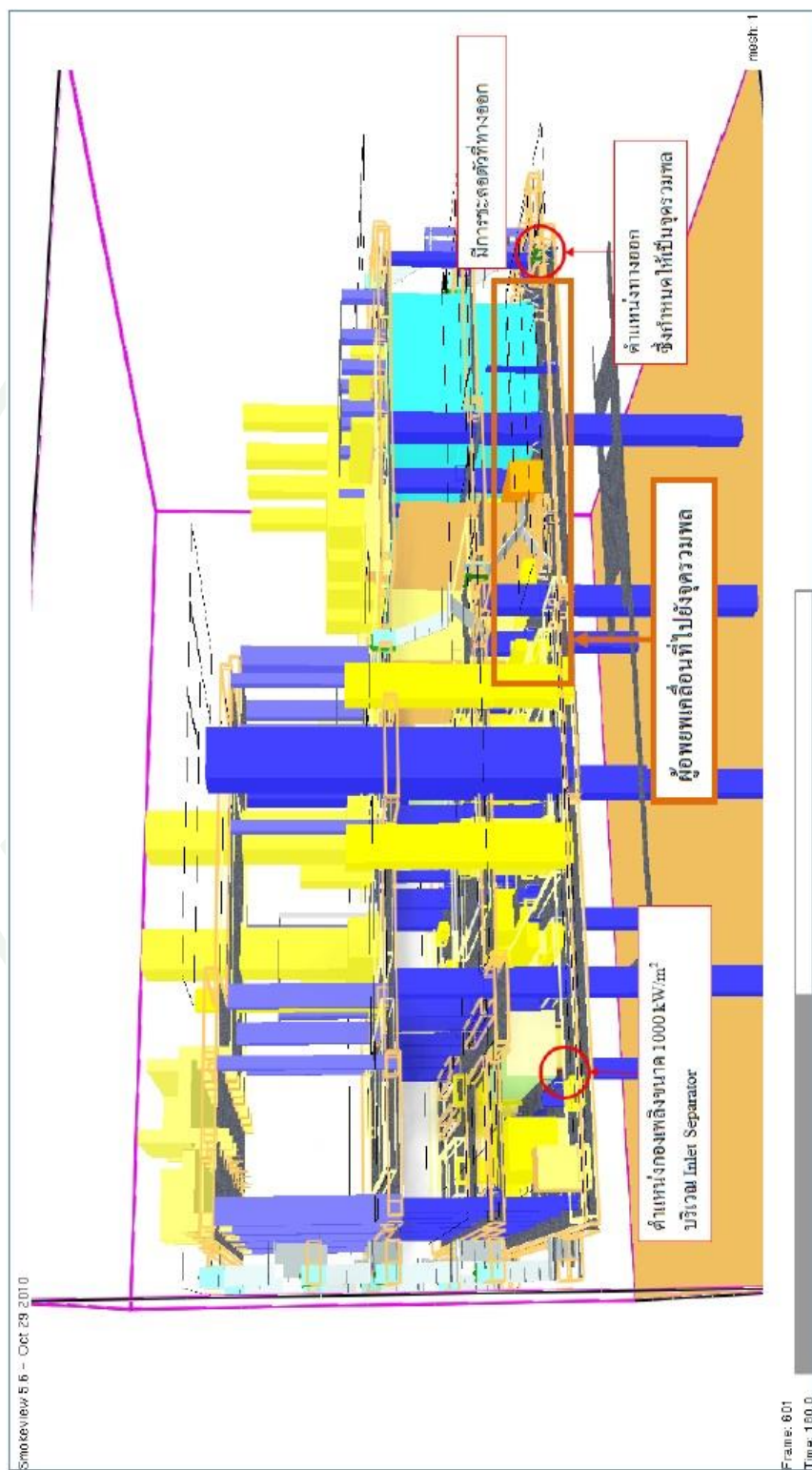
ภาพที่ 65 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @80 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5



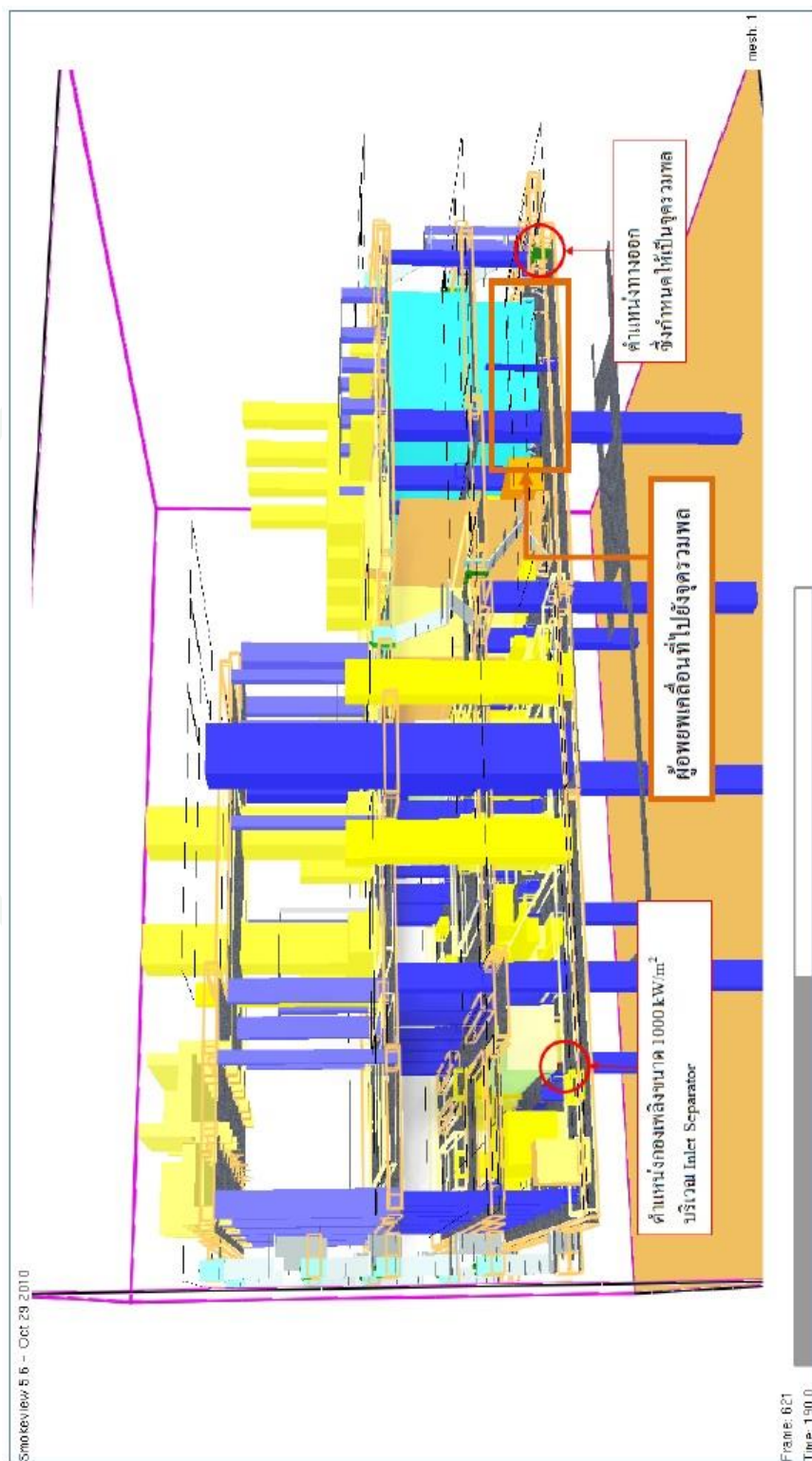
ภาพที่ 66 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @100 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5



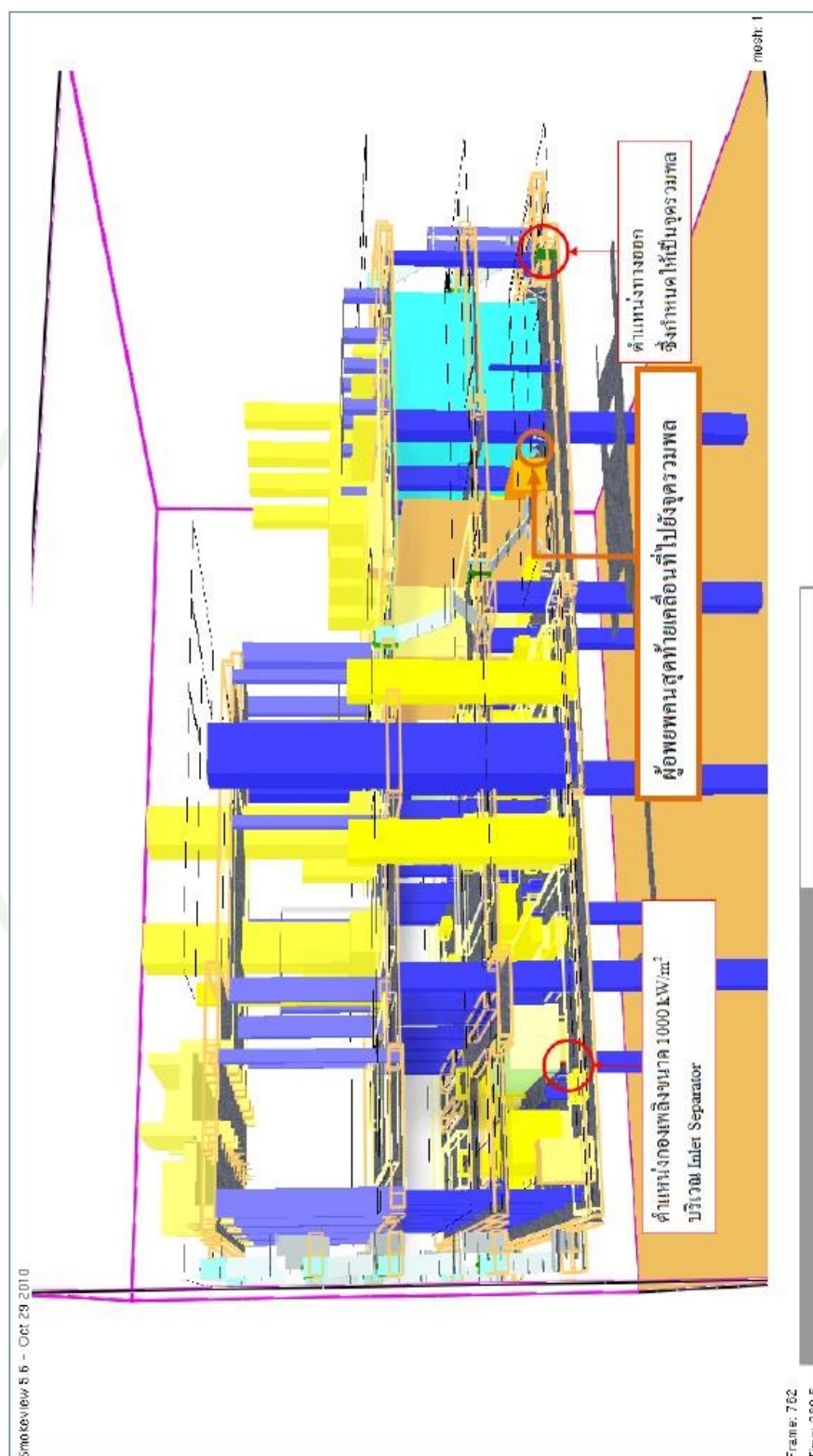
ภาพที่ 67 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @140 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



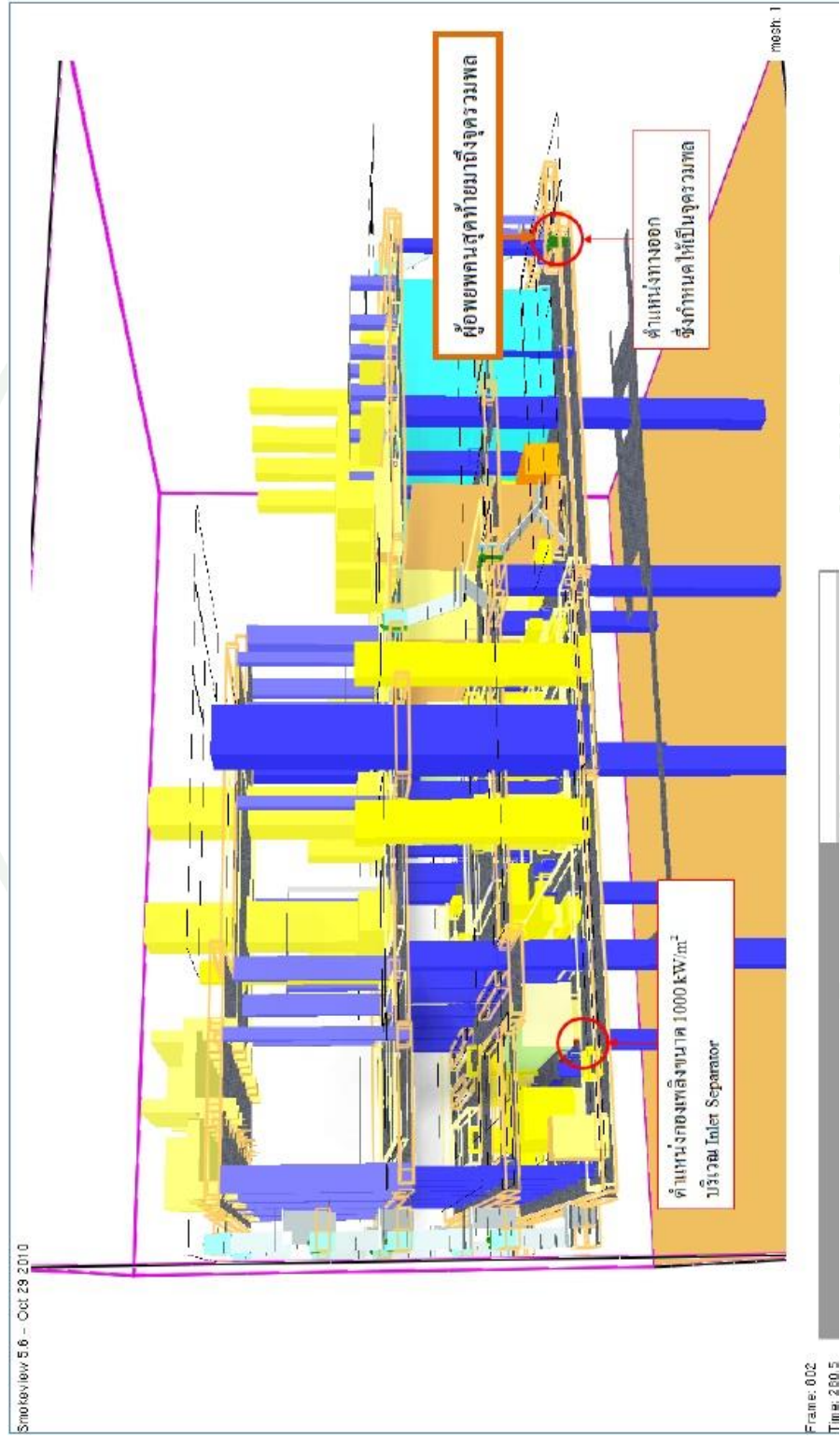
ภาพที่ 68 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @180 วินาที ของการจำลองในกรณีที่ 5



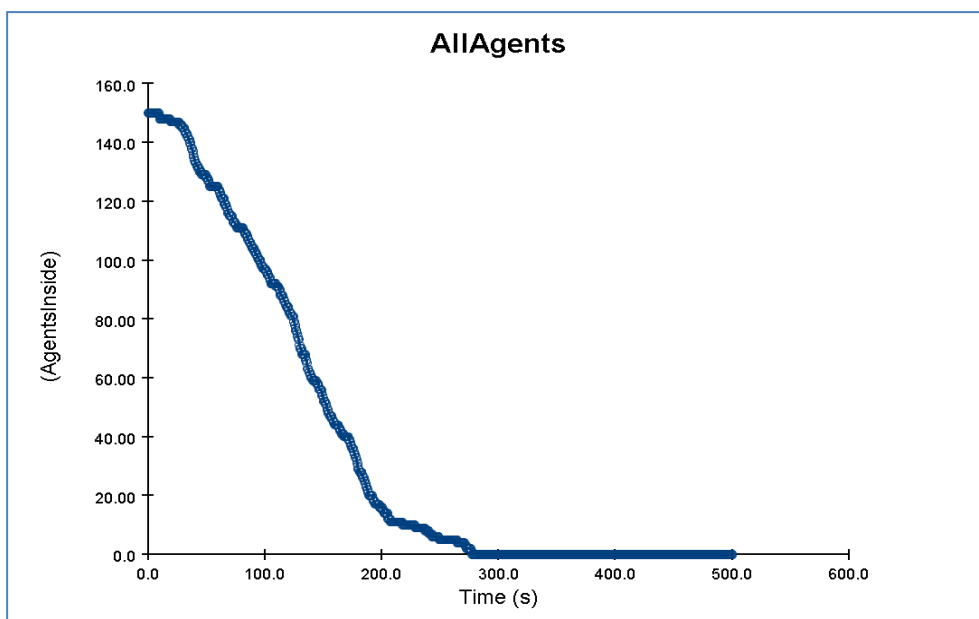
ภาพที่ 69 แสดงการอพยพของผู้อพยพ @190 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



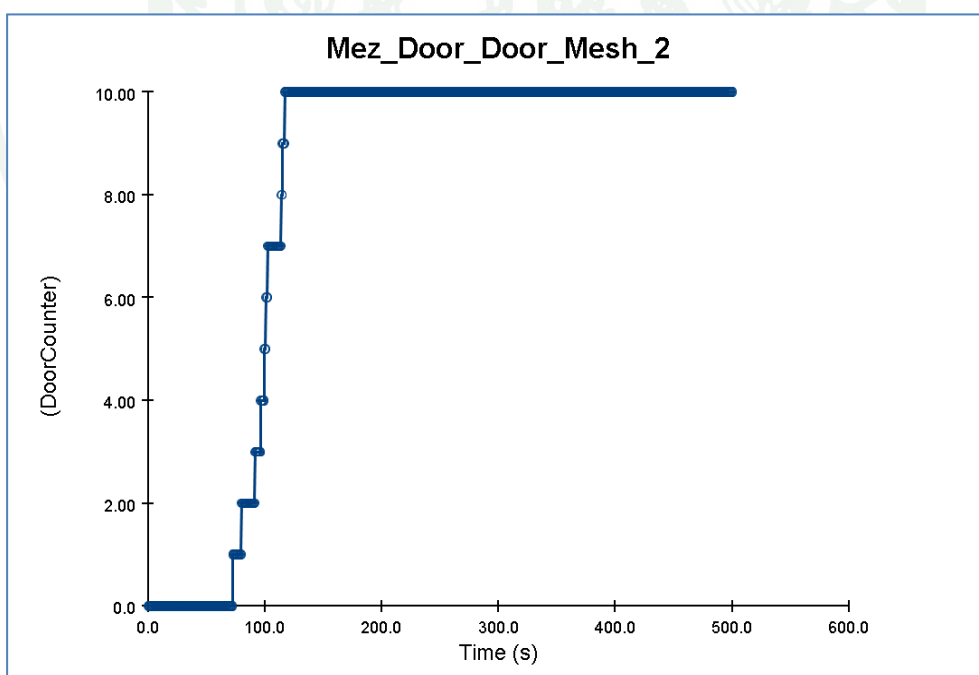
ภาพที่ 70 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้าย @260 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



ภาพที่ 71 แสดงการอพยพของผู้อพยพคนสุดท้ายมาถึงจุดรวมพล @280 วินาที ของการจำลองในกรณีนี้ที่ 5



ภาพที่ 72 กราฟแสดงจำนวนคน และเวลาในการอพยพจากที่ปฏิบัติงานมายังจุดรวมพล



ภาพที่ 73 กราฟแสดงจำนวนคนที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล

ตารางที่ 6 สรุปผลการจำลองแสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพไปยังจุดรวมพล

	เวลาที่ใช้ในการอพยพ วินาที (นาที)
กรณีที่ 1	184 (3)
การซ่อมแผนฉุกเฉิน	-5
กรณีที่ 2	240 (4)
กรณีที่ 3	207 (3.5)
กรณีที่ 4	283 (4.7)
กรณีที่ 5	280 (4.6)

จากการศึกษาทั้ง 5 กรณี จะพบว่าเมื่อมีการอพยพ ผู้อพยพจะวิ่งไปยังบันไดที่อยู่ใกล้ที่สุด เพื่อไปยังจุดปลอดภัยโดยเวลาในการอพยพแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ 6 จากการจำลองจะเห็นว่า กรณีที่ 1 ซึ่งเป็นสภาพตามปกติการปฏิบัติงาน ผู้อพยพจะวิ่งไปยังจุดปลอดภัย โดยใช้เวลาในการอพยพ 184 วินาที(3 นาที) ซึ่งในกรณีนี้จุดปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้คือบริเวณเรือบด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) โดยทางออกสุดท้ายที่กำหนดให้เป็นจุดปลอดภัยมีความกว้างเท่ากับ 10 เมตร ทำให้ผู้อพยพสามารถผ่านทางออกสุดท้ายไปได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณากรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ซึ่งกำหนดให้เป็นสภาพการทำงานปกติเช่นเดียวกับ กรณีที่ 1 มีพนักงานจำนวน 45 คน แต่จุดปลอดภัยกำหนดให้เป็นสะพานที่เชื่อมต่อระหว่างแท่นผลิต ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ 1.5 เมตร ซึ่งทำให้เกิดคอขวดบริเวณทางออก ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอพยพในกรณีที่ 2 ซึ่งใช้เวลา 240 วินาที (4 นาที) และกรณีที่ 3 ใช้เวลา 207 วินาที (3.5 นาที) ซึ่งมากกว่ากรณีที่ 1 แต่ในทุกกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ผู้อพยพสามารถอพยพไปสู่จุดปลอดภัยได้ภายใน 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับกรป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555

จากการจำลองกรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 ซึ่งกำหนดให้เป็นสภาพการทำงานในช่วงที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี พบว่าในกรณีที่ 4 ผู้อพยพจะวิ่งไปยังจุดปลอดภัย โดยใช้เวลาในการ

อพยพ 283 วินาที (4.7 นาที) และในกรณีที่ 5 ผู้อพยพจะวิ่งไปยังจุดปลอดภัย โดยใช้เวลาในการอพยพ 280 วินาที (4.6 นาที) โดยทั้งสองกรณีนี้ ผู้อพยพสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายใน 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับกรป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 เช่นกัน ถึงแม้ว่าในบางช่วงเวลาจะมีการชะลอตัวที่บริเวณทางออกก็ตาม

วิจารณ์

1. จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac สามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการอพยพได้ตามตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม FDS+Evac ในกรณีที่ 1 และ การจับเวลาจากการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 184 วินาที หรือ 3 นาที ในขณะที่การซ้อมแผนฉุกเฉิน พบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 5 นาที นั้นสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับกรป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555, หมวด 2 ความปลอดภัยเกี่ยวกับอาคารและทางหนีไฟ, ข้อ 8 ซึ่งกำหนดให้นายจ้างจัดให้มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้นของอาคารอย่างน้อยชั้นละสองเส้นทางซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยได้โดยปลอดภัยภายในเวลาไม่เกินห้านาที ทั้งนี้จุดรวมพลที่ตั้งอยู่บริเวณเรือช่วยชีวิตนี้ ถือเป็นจุดที่ปลอดภัย เนื่องจากมีผนังกันไฟกันไว้จากส่วนการผลิต และส่วนที่เกิดไฟไหม้ได้

2. เมื่อเปรียบเทียบการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม FDS+Evac ในกรณีที่ 1 และ การจับเวลาจากการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 184 วินาที หรือ 3 นาที ในขณะที่การซ้อมแผนฉุกเฉิน พบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 5 นาที นั้นมีเวลาที่ต่างกันอยู่ 2 นาที ซึ่งเกิดจากในสถานการณ์ที่มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน จากการสังเกตพบว่ามีพนักงานบางส่วนกำลังทำงานอยู่บนนั่งร้าน ทำให้มีการเสียเวลาในการลงจากนั่งร้าน ก่อนที่จะเดินมายังจุดรวมพล รวมถึงอัตราเร็วในการเดินของพนักงานไม่คงที่ เมื่อเดินมาระยะหนึ่ง พนักงานบางส่วนจะเดินช้าลง โดยเฉพาะเมื่อใกล้ถึงบริเวณจุดรวมพล

3. ในกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 240 วินาที หรือ 4 นาที และ ที่เวลา 207 วินาที หรือ 3.5 นาทีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555

4. ในกรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 จากแบบจำลองพบว่าผู้อพยพคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลที่เวลา 283 วินาที หรือ 4.7 นาที และ ที่เวลา 280 วินาที หรือ 4.6 นาทีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎกระทรวงแรงงาน กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 แต่ทั้งนี้ในกรณีที่ 5 มีผู้อพยพจำนวน 10 คน ที่ลงบันไดที่อยู่ข้าง Inlet Separator และเดินผ่านข้าง Inlet Separator ไปยังจุดรวมพล ซึ่งในสถานการณ์ที่เกิดเพลิงไหม้จริง จะมีการประกาศออกทางเสียงตามสายให้พนักงานทราบว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นบริเวณใด ทำให้พนักงานสามารถหลีกเลี่ยงการเดินผ่านบริเวณที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินมาถึงจุดรวมพลอาจจะนานขึ้น เนื่องจากพนักงานจะต้องเดินไปลงบันไดอื่น ซึ่งไกลจากตำแหน่งที่ปฏิบัติงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. เมื่อพิจารณาจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม FDS+Evac และการซ้อมแผนฉุกเฉินพบว่า ในทุกกรณีพนักงานทั้งหมดสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในระยะเวลา 5 นาที แต่เพื่อให้การจัดการจตุรวมผลฉุกเฉินในขณะหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี มีความเป็นระเบียบและรวดเร็ว ควรมีการแบ่งจำนวนพนักงาน และกำหนดจตุรวมพลให้มีความเหมาะสมกับจำนวนพนักงาน เพื่อจะสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็วขึ้น รวมทั้งเมื่อมีการแบ่งจำนวนพนักงาน และกำหนดจตุรวมพลให้พนักงานแล้วควรมีการซ้อมแผนฉุกเฉินเพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจ และทราบตำแหน่งของจตุรวมพลของตนเอง เพื่อความรวดเร็วในกรณีที่ต้องมีการอพยพ

2. จากแบบจำลองในทุกกรณีพบว่าผู้อพยพสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดปลอดภัยตามเส้นทางสัญจร โดยไม่พบการกระจุกตัวที่บริเวณทางออกจนส่งผลกระทบต่อเวลาในการอพยพ และเป็นอุปสรรคต่อการอพยพ

3. จตุรวมพลที่มีอยู่ทั้งบริเวณข้างเรือบด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) และทางออกที่เป็นสะพานเชื่อมไปยังฐานผลิตข้างเคียงนั้น มีความเหมาะสมพอเพียงที่จะรองรับการอพยพของพนักงาน จำนวน 150 คน ได้ ซึ่งควันที่เกิดจากเพลิงไหม้ไม่มีผลกระทบกับการมองเห็น (visibility) ของพนักงาน เนื่องจากเป็นฐานผลิตที่มีขนาดใหญ่ และมีความกว้าง เป็นพื้นที่เปิดรอบด้าน ทำให้ไม่มีการสะสมของควัน ในกรณีที่มีพนักงานปฏิบัติงานบนฐานผลิตฯ เกิน 150 คน จำเป็นจะต้องแบ่งจำนวนพนักงาน และกำหนดจตุรวมพลให้มีความเหมาะสมกับจำนวนพนักงาน เพื่อจะสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในเวลาที่กำหนด กล่าวคือ พนักงานจำนวน 150 คนสามารถใช้สะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต ในขณะที่พนักงานส่วนที่เหลือแต่ไม่เกิน 45 คนให้ใช้จตุรวมพลบริเวณข้างเรือบด หากมีพนักงานส่วนที่เหลือเกินจาก 45 คน จะต้องกำหนดจตุรวมพลเพิ่มเติมให้สามารถรองรับการรวมพลของพนักงานได้อย่างเพียงพอและเหมาะสม

4. ในกรณีที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี จะมีวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ซึ่งบางชิ้นจะมีขนาดใหญ่มาตั้งบริเวณที่ปฏิบัติงาน รวมทั้งในบางครั้งต้องมีการปิดกั้นพื้นที่สำหรับ

ปฏิบัติงาน ส่งผลให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ต้องมีการอพยพ พนักงานมีความจำเป็นจะต้องเดิน อ้อมไปอีกทางหนึ่ง เพื่อไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้ ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่จะไปยังจุดปลอดภัย นานกว่า เวลาที่แสดงในแบบจำลอง ดังนั้นในช่วงการวางแผนการทำงานควรระบุตำแหน่งในการ จัดวางสิ่งของที่จำเป็นสำหรับการทำงานซ่อมบำรุง ไม่ให้เกิดขวางในกรณีที่ต้องมีการอพยพ และมี ป้ายสัญลักษณ์ชั่วคราวแสดงเส้นทางอพยพที่ชัดเจน เพื่อให้พนักงานสามารถอพยพไปยังจุด ปลอดภัยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการซ้อมแผนฉุกเฉินกับพนักงานจำนวน 45 คน และ 150 คน ที่ปฏิบัติงานบน ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง โดยใช้กำหนดจุดปลอดภัยคือสะพานเชื่อมระหว่าง แท่นผลิต เพื่อเปรียบเทียบเวลาการซ้อมจริงกับเวลาที่แสดงในแบบจำลอง
2. เมื่อทราบจำนวนพนักงานที่แน่นอน ที่จะปฏิบัติงานบนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซ ธรรมชาตินอกชายฝั่งในช่วงเวลาหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปีแต่ละครั้ง สามารถใช้ โปรแกรม FDS+EVAC ในการประมาณเวลาที่ใช้ในการอพยพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผน จุบรวมพลให้มีความเหมาะสม และสอดคล้องกับจำนวนพนักงาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงมหาดไทย. 2534. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง พ.ศ.2534. กรุงเทพมหานคร.

กระทรวงแรงงาน. 2555. กฎกระทรวงแรงงาน เรื่องข้อกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2555. กรุงเทพมหานคร.

กิตติสันต์ ศิวรานนท์. 2550. การจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังเก็บน้ำมันดีเซลขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2550. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานที่มีกานด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิศวกรรมสาร มก. 20 (61): 107-119.

_____. 2553. **CFD for Fire Protection Engineering**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

_____. ม.ป.ป. **Evacuation Simulation with Pyrosim 2010** . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

วิวรรณ อัสวสุชี. 2552. การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรัชย์ วัฒนศิริเรก. 2553. การจำลองควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Babrauska, V. 1995. Burning Rates, pp. 3/1-3/16. *In* P.J. DiNenno (ED.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association, Quincy, M.A.

Cuthbert, S. 2014. Definition - What does Muster Point mean?. Available source:

<http://www.safeopedia.com/>, June 27, 2014

Delichatsios, M.A. 1981. The Flow of Fire Gases under a Beamed Ceiling. **Combustion and Flame** 43: 1-10

Evans, D.D. 1995. Ceiling Jet Flow, pp. 2/32-2/40. *In* P.J. DiNenno (ED.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association, Quincy, M.A.

Heskestad, G. 1995. Fire Plume, pp. 2/9-2/20. *In* P.J. DiNenno (ED.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association, Quincy, M.A.

Korhonen, T., S. Hostikka and O. Keski-Rahkonen. 2005. A proposal for the goals and new techniques of modelling pedestrian evacuation in fires, pp. 557-569. *In* **Proceedings of the 8th International Symposium on Fire Safety Science**. Beijing, China.

Mell, W.E., K.McGratta, and H.R. Baum. 1996. Numerical simulation of combustion in fire plumes, pp. 1523-1530. *In* Twenty-sixth Symposium (International) on Combustion. University of Frederico II, Napoli, Italy.

Mudan, K.S. and P.A. Croce. 1995. Fire Hazard Calculations for Large Open Hydrocarbon Fires, pp. 3/197-3/241. *In* P.J. DiNenno (ED.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. National Fire Protection Association, Quincy, M.A.

NFPA 204. 2007. **Standard for Smoke and Heat Venting**. National Fire Protection Association.

Paté-Cornell, M.E. 1993. Learning from the Piper Alpha Accident: A Postmortem Analysis of Technical and Organization Factors. **Risk Analysis** 13 (2): 215-232.

The Florida Department of Health. 2014. **Material Safety Data Sheet-Crude Oil.**

Available source: http://www.floridahealth.gov/chd/bay/Documents/Oilspill/MSDS_BP_Crude_Oil.pdf/, June 27, 2014.

Thunderhead Engineering. **PyroSim User Manual 2010.** Available Source:

<http://thunderheadeng.com/pyrosim/>, December 10, 2012.

Vinnem, J.E. 2007. **Offshore Risk Assessment: Principles, Modelling, and Application of QRA Studies 2nd Edition.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

VTT Technical Research Centre of Finland, **Fire Dynamics Simulator with Evacuation**

FDS+Evac Version 5 Technical Reference and Users Guide. Available Source:

<http://www.vtt.fi/fdsevac/>, March 21, 2008.

Wikipedia. 2010. **Deepwater Horizon explosion.** Available source:

http://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_explosion/, November 3, 2010.

Wikipedia. 2014. **Petroleum.** Available source: <http://th.wikipedia.org/wiki/petroleum/>,

June 27, 2014.





น้ำมันดิบ (Crude Oil)

น้ำมันดิบ เป็นของเหลวไวไฟที่เกิดเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยสารผสมซับซ้อนระหว่างไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน กับสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นของเหลวอื่น ๆ ซึ่งพบในชั้นธรณีวิทยาใต้ผิวโลก เป็นเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ เกิดได้จากซากสิ่งมีชีวิต (มักเป็นแพลงก์ตอนสัตว์และสาหร่าย) จำนวนมากทับถมกันใต้หินตะกอนและได้รับความร้อนและความดันมหาศาล

น้ำมันดิบมีลักษณะปรากฏแตกต่างกันมากโดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมัน ส่วนใหญ่มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม แม้อาจจะมีสีออกเหลือง ออกแดง หรือออกเขียวบ้าง ในแหล่งกักเก็บ น้ำมันดิบมักพบร่วมกับแก๊สธรรมชาติ ซึ่งเบากว่า เกิดเป็นแหล่งปิโตรเลียมที่มีทั้งแก๊สและน้ำมัน (gas cap) เหนือปิโตรเลียม และน้ำเกลือซึ่งหนักกว่ารูปแบบน้ำมันดิบส่วนใหญ่ โดยปกติจะจมลงข้างใต้ น้ำมันดิบอาจพบในรูปกิ่งของแข็งซึ่งผสมกับทรายและน้ำ

น้ำมันดิบมีสถานะตามธรรมชาติเป็นของเหลว ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่ายเป็นส่วนใหญ่ แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามคุณสมบัติ และชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบอยู่ คือ

1. น้ำมันดิบฐานพาราฟิน
2. น้ำมันดิบฐานแนฟทีน
3. น้ำมันดิบฐานผสม

น้ำมันดิบมีจุดวาบไฟ (Flash Point) ที่อุณหภูมิ 20°F ถึง 90°F



จุดรวมพล (Muster Point)

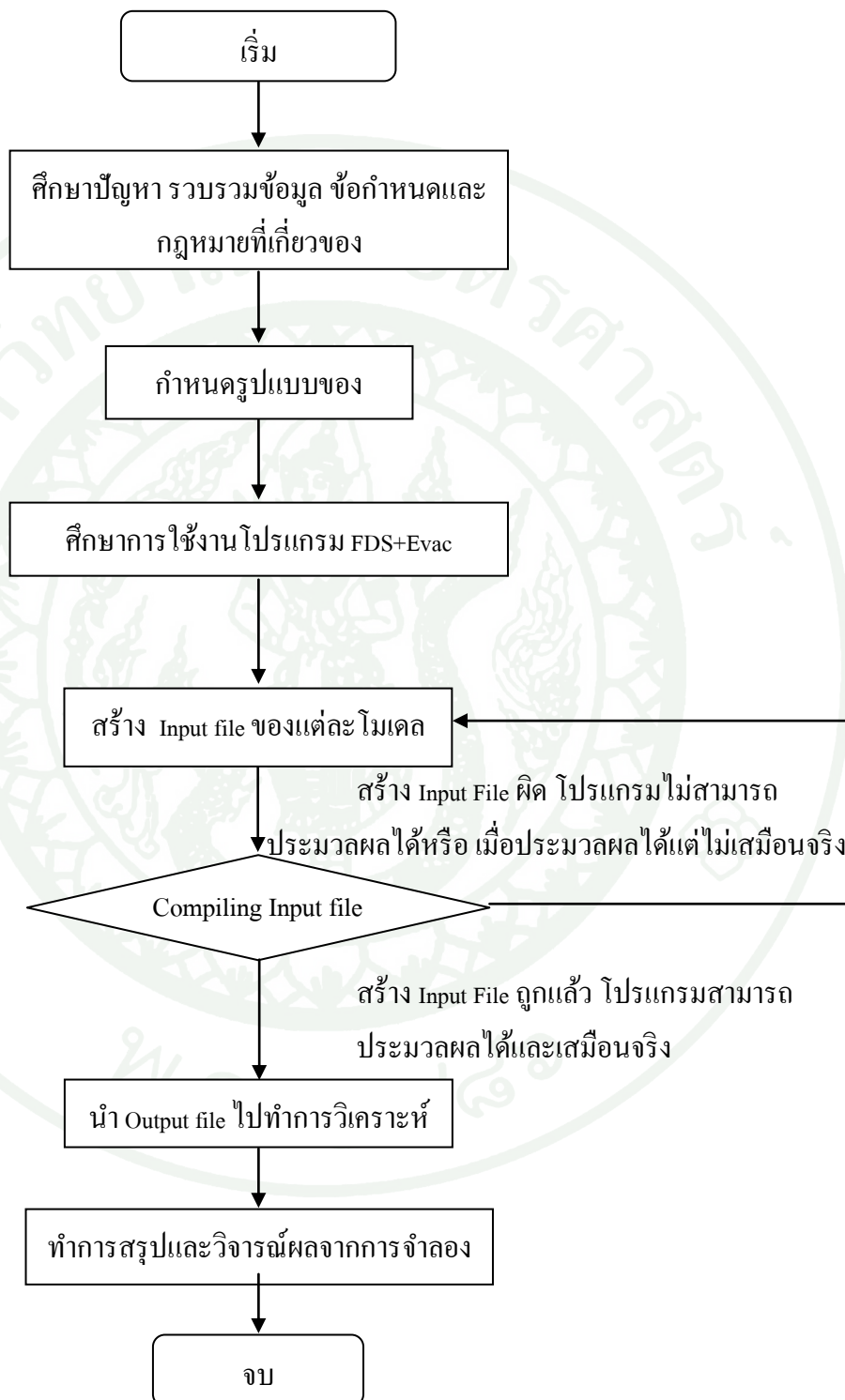
จุดรวมพล หมายถึง บริเวณ หรือสถานที่ ที่กำหนดไว้เพื่อให้พนักงาน, ผู้โดยสาร หรือกลุ่มคนจำนวนมากมารวมกันอยู่ได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน

จุดรวมพลหลัก (Primary Muster Point) คือ บริเวณ หรือสถานที่ ที่ปลอดภัยกำหนดไว้เป็นอันดับแรกเพื่อให้พนักงาน, ผู้โดยสาร หรือกลุ่มคนจำนวนมากมารวมกันที่บริเวณนี้ทันที เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

จุดรวมพลสำรอง (Secondary Muster Point) คือ บริเวณ หรือสถานที่ ที่ปลอดภัยกำหนดไว้เป็นอันดับสอง เมื่อจุดรวมพลหลักไม่สามารถใช้การได้ หรือไม่สามารถเข้าถึงได้ พนักงาน, ผู้โดยสาร หรือกลุ่มคนจำนวนมากจะมารวมกันที่บริเวณนี้แทนจุดรวมพลหลัก รวมทั้งในบางกรณีจุดรวมพลสำรองจะเป็นจุดรวมพลเพิ่มเติมในกรณีที่จุดรวมพลหลักไม่สามารถรองรับจำนวนคนทั้งหมดได้



การสร้างแบบจำลอง (Flowchart)



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายวรมัน เกลิมวัฒน์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 13 เมษายน 2520
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรคอมพิวเตอร์) สถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ อาชีวอนามัย และ สภาพแวดล้อมในการทำงาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เซฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท เซฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต จำกัด