



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน  
โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Study of Smoke Flow Behavior in an Underground Station  
by Numerical Method

นางสาวชนัญฉิธา คงกระจำง  
นายณภัทร สงวนติลกรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน  
โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Study of Smoke Flow Behavior in an Underground Station  
by Numerical Method

นางสาวชนัญริดา คงกระจ่าง  
นายณภัทร สวงวนติสกรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การศึกษาพฤติกรรมมลพิษของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ชื่อ - สกุล นักศึกษา นางสาวชนัญธิดา คงกระจ่าง

นายณภัทร สงวนดิลรัตน์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.จิตรารภรณ์ วงศางาม

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน ดร.หัสณัย ช่วยพิมาย

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ทีม คอลซัลติง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด

### บทคัดย่อ

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบควบคุมเพลิงไหม้รวมทั้งการระบายควันและความร้อนสำหรับอาคารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน และอุโมงค์คมนาคมถูกให้ความสำคัญจากอุบัติเหตุเพลิงไหม้หลายๆ กรณีเนื่องจากผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตจำนวนมากเกิดจากการสูดดมควันพิษซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปในปริมาณมากจนทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ในทันที โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจำลองการไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพในการระบายควันไฟก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ โดยทำการจำลองการเหตุเพลิงไหม้ ด้วยเชื้อเพลิงโพลียูรีเทน กองเพลิงขนาด 7 MW และไม่มีลมพัดบริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform และบริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial เป็นเวลา 7 นาทีหลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ทัศนวิสัยการมองเห็น และพฤติกรรมมลพิษของควันไฟเท่านั้น ผลจากการจำลองหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศพบว่าควันไฟเคลื่อนที่ไปบริเวณทางเดิน บันไดและบันไดเลื่อนที่สามารถทำการอพยพได้ข้าง อุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยไม่เกิน 100 ppm สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะ 5 เมตรขึ้นไป (ซึ่งเป็นระยะที่สามารถมองเห็นป้ายสัญลักษณ์ต่างๆได้อย่างชัดเจน) ออกไปเฉลี่ย 1-2 นาทีเป็นอย่างต่ำ ประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ชั้น Lower Platform การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถชะลอการเคลื่อนที่ของควันไฟได้ ทำให้ผู้โดยสารมีเวลาในอพยพเพิ่มขึ้นและสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : เพลิงไหม้, พฤติกรรมมลพิษ, ควันไฟ, สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, FDS, BIM, Pyrosim  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Co-operation Title:** A Study of Smoke Flow Behavior in an Underground Station  
by Numerical Method

**Student Intern Name:** Miss Chanantida Kongkrajang  
Mr. Napat Sanguandilokrat

**Faculty:** Engineering

**Department:** Mechanical Engineering

**Advisor name:** Dr. Jittraporn Wongsan-Ngam

**Mentor name:** Dr. Hadsanai Chuaypimai

**Company:** TEAM Consulting Engineering and Management Co.,Ltd.

## Abstract

Fire alarm system, fire control system including smoke and heat ventilation system for the underground station and tunnels have been featured in many case studies. Because of the injuries and deaths are caused by inhalation of toxic smoke, most of which are composed of carbon monoxide, which causes dizziness, nausea, vomiting, unconsciousness, and death. This research aims to study and simulate the flow behavior of smoke in underground station. Also, study the effectiveness of the smoke exhaust before and after the installation of the ventilation system. By simulating a fire, with 7 MW polyurethane fuel and no flame spread at the center of the lower platform, the tunnel of the lower platform and the center of commercial level for 7 minutes after the fire. Factors is used in effectiveness comparison include temperature, carbon monoxide, visibility and the flow behavior of smoke only. The simulation results after the installation of the ventilation system estimate that the smoke moved to the evacuation areas likes walkway, stairs and escalators slow down. The average temperature does not exceed 50 degrees celsius. The average carbon monoxide density does not exceed 100 ppm (parts per million). Extension time to have visibility above 5 meters, which can clearly see the signs, is about 1-2 minutes. Maximum effectiveness occurs at the fire at in lower platform tunnel in case of ventilation system installation. Therefore, installation of ventilation system can slow down the flow of smoke. The passengers will have more time to evacuate and can evacuate more safely.

**Keywords :** Fire, Flow Behavior, Smoke, Underground Station, Numerical Method, FDS, BIM, Pyrosim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรเป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดี จนทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบคุณ บริษัท ทีม คอลซัลติง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด ที่ให้ความกรุณาสนับสนุน คำแนะนำ คำชี้แนะ และให้ประสบการณ์ในการทำงาน และการทำวิจัยปริญญาบัตร

ขอขอบคุณการรถไฟฟ้ามหานครแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่วิศวกร ที่คอยเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆ ช่วยเหลือข้อมูลและโปรแกรม ในการทำปริญญาบัตร

ชนัญธิดา คงกระจ่าง

ณภัทร สงวนดิลรัตน์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
1.4 กระบวนการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลวัตของเพลิงในพื้นที่ปิด (Enclosure Fire dynamics)	4
2.2 เพลิงไหม้ที่ถูกควบคุมโดยเชื้อเพลิง และเพลิงไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการระบายอากาศ (Fuel- or Ventilation-controlled Fire)	5
2.3 แบบจำลองกองเพลิง (Plume Models)	6
2.4 แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator : FDS)	10
2.5 การเลือกขนาดกริดที่เหมาะสมและข้อจำกัดของโปรแกรม FDS	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 สร้างแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดินและการตั้งสมมติฐานการทดลองในแต่ละกรณี	19
3.2 การตั้งค่าภายในโปรแกรม Pyrosim	25
3.3 การติดตั้งระบบระบายอากาศ	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	43
4.1 พฤติกรรมการไหลของควันไฟ	43
4.2 ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	55
4.3 ผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	74
4.4 ผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	95
4.5 อัตราการปลดปล่อยพลังงาน	115
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	119
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	119
5.2 ข้อเสนอแนะ	120
เอกสารอ้างอิง	121
ภาคผนวก	125
ภาคผนวก ก อันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	124
ภาคผนวก ข การจำลองการควบคุมควันภายใต้การทำงานในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน	126

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงกรณีศึกษาเหตุการณ์เพลิงไหม้	23
3.2 ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในโครงการเอเชีย	29
4.1 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2)	61
4.2 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2)	62
4.3 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4)	68
4.4 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4)	69
4.5 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 5 และกรณีศึกษาที่ 6)	73
4.6 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 5 และกรณีศึกษาที่ 6)	73
4.7 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2)	81
4.8 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2)	82
4.9 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4)	89
4.10 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4)	90
4.11 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีศึกษาที่ 5 และกรณีศึกษาที่ 6)	94
4.12 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีศึกษาที่ 5 และกรณีศึกษาที่ 6)	94

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) แบบจำลองกองเพลิงหลังเกิดการเผาไหม้ (ข) ปราบกฎการณ์ Ceiling Jet	4
2.2 (ก) คิวเคลื่อนที่ต่ำลงเมื่อกระทบผนังและลอยตัวสูงขึ้นสู่เพดานอีกครั้ง (ข) คิวไหลออกจากห้องเมื่อ HGL (Hydraulic Grade Line) เคลื่อนที่ถึงช่องเปิดด้านบน	5
2.3 แบบจำลอง Two Zone, พื้นที่ปิดจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนร้อนและส่วนเย็น โดยมีสมการอนุรักษ์ (Conservation Equation) จะเป็นตัวระบุเงื่อนไขระหว่างสองส่วนนี้	7
2.4 แบบจำลองกองเพลิง แสดงการทิศทางลอยตัวขึ้นของคิวและการไหลเข้าของอากาศโดยรอบ	7
2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ Ideal Plume Model	8
2.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ Heskestads Plume Model	9
2.7 แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมาয়กกำลัง 2,3,5	15
3.8 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.2 สถานีแบบชานชาลาอยู่ด้านข้าง (Side Platform)	19
3.9 ขนาดของอาคารรถไฟใต้ดิน (ก) มุมมองด้านบน (Top View) (ข) มุมมองด้านหน้า (Front View)	20
3.10 สถานีแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นร้านค้า ชั้นขายบัตรโดยสาร ชานชาลาชั้นบน และชานชาลาชั้นล่าง	20
3.11 แสดง Commercial Level มุมมองด้านบน (Top View)	21
3.6 แสดง Concourse Level มุมมองด้านบน (Top View)	21
3.7 แสดง Lower Platform Level มุมมองด้านบน (Top View)	22
3.8 แสดง Upper Platform Level มุมมองด้านบน (Top View)	22
3.9 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform	23
3.10 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform	24
3.11 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial	25
3.12 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนด Mesh	26
3.13 แสดงการปรับ Mesh ให้พอดีกับโมเดลสถานี	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 แสดงแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินภายในโปรแกรม Pyrosim_____	27
3.15 แสดงด้านในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินภายในโปรแกรม Pyrosim_____	27
3.16 แสดงชั้น Commercial ภายในโปรแกรม Pyrosim_____	28
3.17 แสดงชั้น Upper Platform ภายในโปรแกรม Pyrosim_____	28
3.18 แสดงชั้น Lower Platform ภายในโปรแกรม Pyrosim_____	28
3.19 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดกองเพลิง_____	30
3.20 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการจำลอง_____	31
3.21 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Commercial โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า G1-G3 บริเวณประตูทางเข้าออก 1-3 และตัวตรวจวัดค่า C1-C3 บริเวณทางเดิน_____	31
3.22 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Concourse โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า CC1-CC7 บริเวณทางเดิน_____	32
3.23 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Upper Platform โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า U1-U7 บริเวณทางเดิน_____	32
3.24 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Lower Platform โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า L1-L7 บริเวณทางเดิน และตัวตรวจวัดค่า LT1-LT7 บริเวณภายในอุโมงค์รถไฟ_____	33
3.25 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Commercial_____	34
3.26 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Concourse_____	34
3.27 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Upper Platform_____	35
3.28 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Lower Platform และตำแหน่ง Supply Tunnel Fan สำหรับบ่อโมงค์_____	35
3.29 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Commercial_____	36
3.30 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Concourse_____	36
3.31 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Upper Platform_____	37
3.32 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Lower Platform_____	37
3.33 มาตรฐานโบฟอร์ต (Beaufort Scale)_____	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.34 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Air Supply Fan_____	39
3.35 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Exhaust Extract Fan_____	40
3.36 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Supply Tunnel Fan_____	41
3.37 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Exhaust Tunnel Fan_____	42
4.1 แสดงตำแหน่งของช่องเปิดบันไดและบันไดเลื่อนภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน_____	45
4.2 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 1 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	46
4.12 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 2 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	47
4.4 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 2 มุมมองด้านบน (Top View) (ก) 240 วินาที (ข) 300 วินาที (ค) 360 วินาที (ง) 420 วินาที_____	48
4.5 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform กรณีที่ 3 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	50
4.6 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform กรณีที่ 4 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	51
4.7 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial กรณีที่ 5 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	53
4.8 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial กรณีที่ 6 (ก) 0 วินาที (ข) 60 วินาที (ค) 120 วินาที (ง) 180 วินาที (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที (ช) 360 วินาที (ซ) 420 วินาที_____	54
4.9 แสดงผลของอุณหภูมิกายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1_____	55
4.10 แสดงผลของอุณหภูมิกายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2_____	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1	57
4.12 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2	57
4.13 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1	58
4.14 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2	58
4.15 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1	59
4.16 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2	59
4.17 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1	60
4.18 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2	60
4.19 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	63
4.20 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	64
4.21 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	65
4.22 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	65
4.23 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 3	66
4.24 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 4	66
4.25 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 3	67
4.26 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 4	67
4.27 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5	70
4.28 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6	71
4.29 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5	72
4.30 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6	72
4.31 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1	74
4.32 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2	75
4.33 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1	76

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2	76
4.35 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1	77
4.36 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2	78
4.37 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1	79
4.38 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2	79
4.39 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1	80
4.40 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2	80
4.41 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	83
4.42 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	84
4.43 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	85
4.44 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	85
4.45 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 3	86
4.46 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 4	87
4.47 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 3	87
4.48 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 4	88
4.49 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5	91
4.50 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6	92
4.51 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5	93
4.52 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6	93
4.53 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1	96
4.54 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2	96
4.55 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

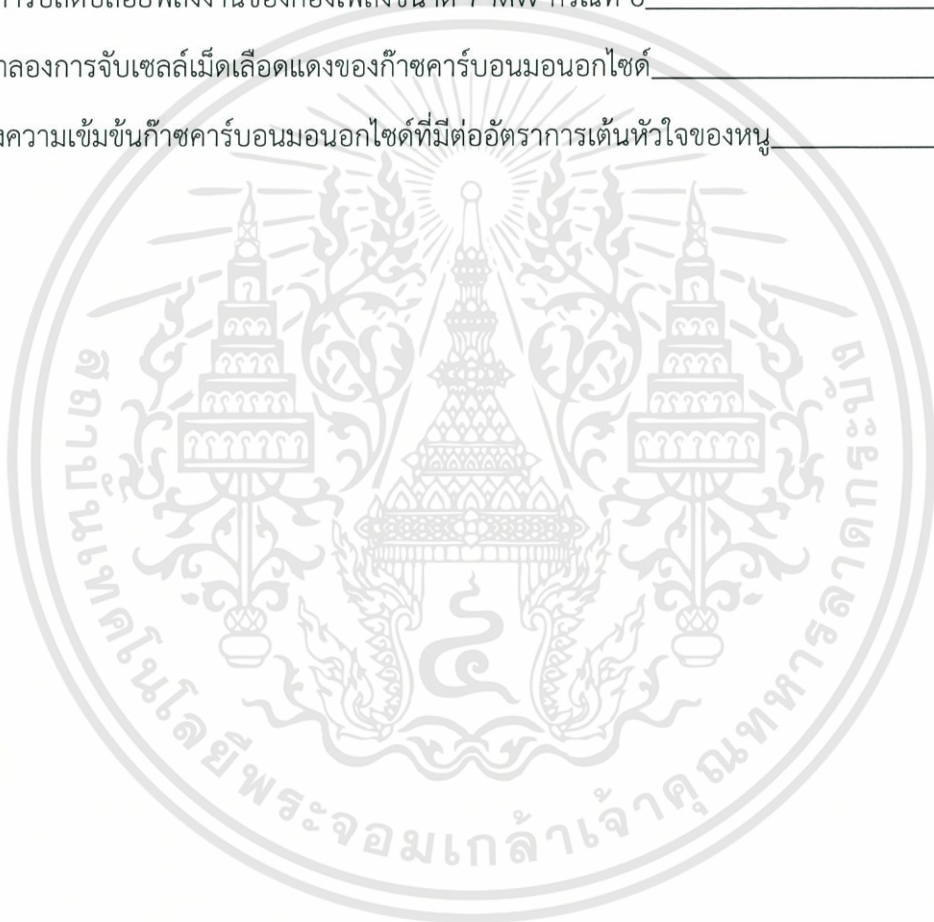
## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.56 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2	98
4.57 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1	100
4.58 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2	100
4.59 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1	101
4.60 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2	102
4.61 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1	103
4.62 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2	103
4.63 แสดงผลทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	105
4.64 แสดงผลทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	105
4.65 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Lower Platform กรณีที่ 3	106
4.66 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Lower Platform กรณีที่ 4	107
4.67 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Upper Platform กรณีที่ 3	108
4.68 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Upper Platform กรณีที่ 4	109
4.69 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Concourse กรณีที่ 3	110
4.70 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Concourse กรณีที่ 4	110
4.71 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 3	111
4.72 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 4	112
4.73 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5	113
4.74 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6	113
4.75 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5	114
4.76 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6	115
4.77 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 1	116
4.78 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 2	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.79 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 3	117
4.80 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 4	117
4.81 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 5	118
4.82 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 6	118
ก-1 ภาพจำลองการจับเซลล์เม็ดเลือดแดงของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	124
ก-2 ผลของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่ออัตราการเต้นหัวใจของหนู	125



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การพัฒนาการขนส่งทางระบบรางเข้ามามีบทบาทสำคัญในแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่ง เพื่อสร้างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม และพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน อาทิเช่นแผนงานการพัฒนาโครงข่ายขนส่งสาธารณะเพื่อแก้ไขปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ซึ่งจะนำไปสู่การก่อสร้างโครงข่ายรถไฟฟ้าหลายสายในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล การพัฒนาระบบขนส่งระบบรางอย่างเช่นรถไฟฟ้า นอกจากจะคำนึงถึงการความสะดวกสบาย ตรงเวลา ในการให้บริการ ความปลอดภัยของผู้ใช้บริการก็ถือเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก

ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบควบคุมเพลิงไหม้รวมทั้งการระบายน้ำและความร้อนสำหรับอาคารสถานีรถไฟใต้ดิน และอุโมงค์คมนาคมจึงถูกให้ความสำคัญจากกรณีศึกษาหลายๆ กรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุบัติเหตุเพลิงไหม้ภายในสถานีรถไฟใต้ดินแดกู (Daegu) ประเทศเกาหลีใต้ ในปี พ.ศ. 2546 คนร้ายได้ลอบวางเพลิงและจุดระเบิดขึ้นในขบวนรถไฟ จากเหตุการณ์นี้ทำให้เกิดผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตรวมกว่า 350 คน [1] อุบัติเหตุเพลิงไหม้บริเวณบันไดเลื่อน สถานีรถไฟใต้ดิน King's Cross ประเทศอังกฤษ ในปี พ.ศ. 2530 ก่อให้เกิดผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตรวมกว่า 130 คน [2] นอกจากนี้เหตุเพลิงไหม้จากการขัดข้องทางเทคนิคบริเวณรางรถไฟในอุโมงค์ระหว่างสถานี Okhotny Ryad และสถานี Biblioteka Imeni Lenina ประเทศรัสเซีย ในปี พ.ศ. 2556 ยังเป็นอีกหนึ่งกรณีศึกษาที่น่าสนใจ อุบัติเหตุดังกล่าวมีผู้บาดเจ็บจากการสูดดมควันพิษเข้าไปในปริมาณมากจำนวนกว่า 50 คน [3] ผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตจำนวนมากเกิดจากการสูดดมควันพิษซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปในปริมาณมากจนทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ในทันที

จากความสำคัญดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ซึ่งได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของควันไฟที่อาจเกิดขึ้นได้ภายในสถานีรถไฟใต้ดิน ในเบื้องต้นจะทำการจำลองสถานีรถไฟใต้ดินโดยใช้โปรแกรม BIM (Building Information Modeling) หลังจากนั้นจะทำการจำลองการเกิดควันไฟโดยใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำก่อนและหลังการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ สำหรับโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะพฤติกรรมการไหลของควันไฟ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และทัศนวิสัยการมองเห็น เท่านั้น ทั้ง 4 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้บริการ โดยอ้างอิงจาก NFPA 130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) [4] ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างสถานีสถาปัตยกรรม ระบบอำนวยความสะดวกภายในอาคาร และ NFPA 204 (Standard for Smoke and Heat Venting) [5] ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้สำหรับการระบายน้ำและความร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและจำลองการไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการระบายควันไฟก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

- 1.3.1. พิจารณาการเกิดควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าแบบใต้ดิน
- 1.3.2. สมมติตำแหน่งของต้นเพลิงที่ใช้ในการศึกษาไว้ 3 ตำแหน่ง ดังนี้
  - บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform
  - บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform
  - บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial
- 1.3.3. ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายควันไฟก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศได้แก่ พฤติกรรมการไหลของควันไฟ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และทัศนวิสัยการมองเห็น

## 1.4 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหาข้อมูลเกี่ยวกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.4.2 ศึกษาโปรแกรม BIM (Building Information Modeling) และโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)
- 1.4.3 สร้างแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยโปรแกรม BIM (Building Information Modeling) และจำลองพฤติกรรมกรไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)
- 1.4.4 วิเคราะห์พฤติกรรมกรไหลของควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)
- 1.4.5 แก้ไขและหาจุดบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎี
- 1.4.6 สรุปผลและอภิปรายผล
- 1.4.7 จัดทำรายงานนำเสนอ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถจำลองการไหลและการกระจายตัวของควันไฟ รวมทั้งหาประสิทธิภาพทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินได้
- 1.5.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการใช้ศึกษาต่อเพื่อหาเส้นทางในการอพยพที่ดีที่สุด

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินการ	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหาข้อมูลเกี่ยวกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน																
2	ศึกษาโปรแกรม BIM และ FDS																
3	สร้างแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยโปรแกรม BIM และจำลองพฤติกรรมกรรการไหลของควันไฟด้วยโปรแกรม FDS																
4	วิเคราะห์พฤติกรรมกรรการไหลของควันไฟโดยโปรแกรม FDS																
5	แก้ไขและหาจุดบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎี																
6	สรุปผลและอภิปรายผล																
7	จัดทำรายงานนำเสนอ																



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

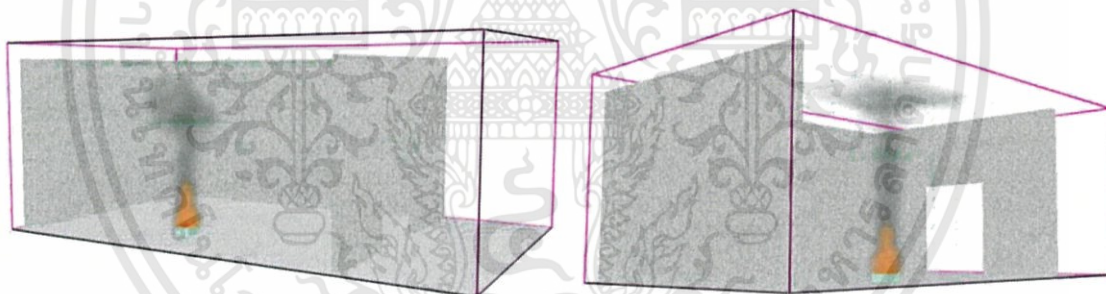
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พลวัตของเพลิงในพื้นที่ปิด (Enclosure Fire dynamics) [6]

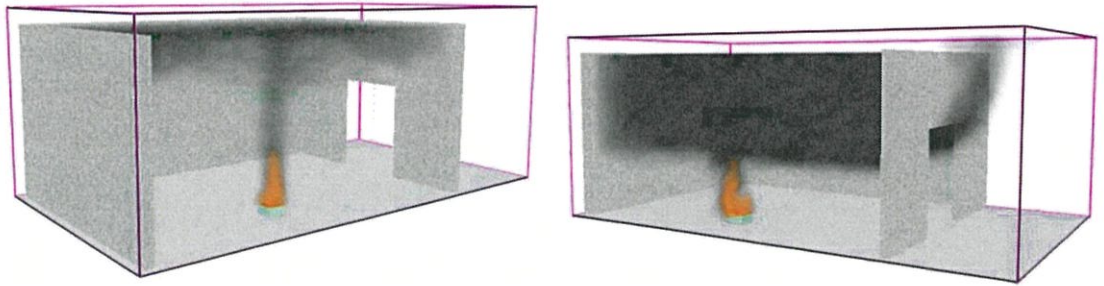
การเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่ปิดสามารถเกิดได้หลากหลายสถานการณ์ขึ้นกับลักษณะทางเรขาคณิตของพื้นที่ปิด ระบบระบายอากาศ เชื้อเพลิง เป็นต้น ดังนั้นการอธิบายและการจำลองเหตุการณ์ดังกล่าวจึงต้องอาศัยการจำลองการเกิดเหตุไฟไหม้จากการทดลอง NFSC2 ซึ่งเป็นการทดลองการเกิดไฟไหม้ภายในพื้นที่ปิด ทฤษฎีที่ได้จากการทดลองเป็นที่มาของแบบจำลองกองเพลิง (Plume Model) โดยเพดานและผนังหนึ่งด้านของพื้นที่ปิดจะถูกทำให้สามารถมองเห็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในได้

เมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้เกิดการเผาไหม้และเกิดควันลอยตัวขึ้นสูง ดังรูปที่ 2.1 ควันร้อนจะลอยตัวขึ้นโดยอาศัยแรงลอยตัว (Buoyancy) อากาศที่เย็นกว่าโดยรอบจะไหลเข้ามาแทนที่ เมื่อควันลอยตัวขึ้นสูงจนถึงเพดาน การไหลของควันจะกระจายตัวในแนวระนาบของเพดานตามแนวรัศมีจากจุดที่เกิดการปะทะระหว่างควันไฟกับเพดาน (Ceiling Jet) ดังรูปที่ 2.1 (ข)



รูปที่ 2.1 (ก) แบบจำลองกองเพลิงหลังเกิดการเผาไหม้ (ข) ปรากฏการณ์ Ceiling Jet [6]

ปรากฏการณ์ Ceiling Jet ส่งผลให้ควันกระจายทั่วเพดาน จนควันดังกล่าวไปกระทบกับผนังห้องจึงลอยตัวต่ำลง ควันยังคงมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศโดยรอบ สำหรับควันที่ลอยตัวอยู่บริเวณเพดานจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และในที่สุดจะมีควันร้อนจำนวนมากอยู่บริเวณใต้เพดาน ดังรูปที่ 2.2 (ก) หลังจากนั้นควันร้อนยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสะสมกันมากพอและลอยตัวออกผ่านทางช่องเปิดไปสู่อากาศภายนอก สุดท้ายควันร้อนจะไหลอย่างคงตัว (Steady State) เมื่ออัตราการไหลออกของควันเท่ากับอัตราการเกิดควันจากกองเพลิง ความสูงของควันสำหรับการไหลอย่างคงตัว ดังรูปที่ 2.2 (ข)



รูปที่ 2.2 (ก) คิว้นเคลื่อนที่ต่ำลงเมื่อกระทบผนังและลอยตัวสูงขึ้นสู่เพดานอีกครั้ง (ข) คิว้นไหลออกจากห้องเมื่อ HGL (Hydraulic Grade Line) เคลื่อนที่ถึงช่องเปิดด้านบน [6]

เมื่อคิว้นร้อนมีปริมาณมากขึ้น อุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ก็จะเพิ่มมากขึ้นตาม การถ่ายเทความร้อนของคิว้นเกิดโดยอาศัยการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ผ่านเพดานและผนัง สำหรับการถ่ายเทความร้อนสู่คิว้นชั้นที่ต่ำกว่าและพื้นห้องจะถ่ายเทผ่านการแผ่รังสีเท่านั้น

ถ้าเปลี่ยนให้เชื้อเพลิงมีปริมาณมากขึ้น อัตราการเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้นตาม สำหรับการแพร่กระจายของเปลวไฟจะขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง ส่วนการเกิดเปลวไฟลุกท่วมเองในชั่วพริบตา (Flashover) นั้นขึ้นกับวัสดุไวไฟที่ถูกเผาไหม้

## 2.2 เพลิงไหม้ที่ถูกควบคุมโดยเชื้อเพลิง และเพลิงไหม้ถูกควบคุมโดยการระบายอากาศ (Fuel- or Ventilation-controlled Fire) [6]

การที่จะเกิดการลุกไหม้ของเพลิงได้ต้องมีเชื้อเพลิงและปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ การโตของเพลิงจะขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงและรูปร่างของแหล่งกำเนิดไฟ (The Fuel and the Geometry of the Fire Source) เท่านั้น หลังจุดติดไฟแล้วเพลิงจะถูกควบคุมด้วยเชื้อเพลิง ในระบบควบคุมการระบายอากาศสำหรับเหตุเพลิงไหม้จะส่งผลให้มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะสามารถเกิดการเผาไหม้ หรือลามของไฟได้ อัตราการปลดปล่อยความร้อนจะถูกควบคุมโดยปริมาณของออกซิเจนที่เข้าสู่ช่องเปิดของพื้นที่ปิด

ในคู่มือระบบระบายอากาศสำหรับโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) ค่า  $\phi$  หรือ Global Equivalence Ratio ใช้เพื่ออธิบายว่าระบบระบายอากาศดังกล่าวระบายอากาศได้ดีหรือต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.1)

$$\phi = \frac{m_f}{r m_{o_2}} = \frac{\dot{Q}}{13100 \dot{m}_{o_2}} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $r$  คือ Stoichiometric Ratio [-]

$\dot{Q}$  คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด [kW]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{m}_f$  คือ Mass Flux ของเชื้อเพลิง  $[\frac{kg}{s m^2}]$

$\dot{m}_{O_2}$  คือ Mass Flux ของออกซิเจน  $[\frac{kg}{s m^2}]$

Mass Flux ของออกซิเจน สำหรับช่องเปิดที่มีระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation) และแบบทางกล (Mechanical Ventilation) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$\dot{m}_{O_2} = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot 0.23 A_0 \sqrt{H_0} & : \text{Natural Ventilation} \\ 0.23 \rho \dot{V} & : \text{Mechanical Ventilation} \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $A_0$  คือ พื้นที่ของช่องเปิด  $[m^2]$

$H_0$  คือ ความสูงของช่องเปิด  $[m]$

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ  $[\frac{kg}{m^3}]$

$\dot{V}$  คือ อัตราการไหลเข้าของอากาศผ่านช่องเปิด  $[\frac{m^3}{s}]$

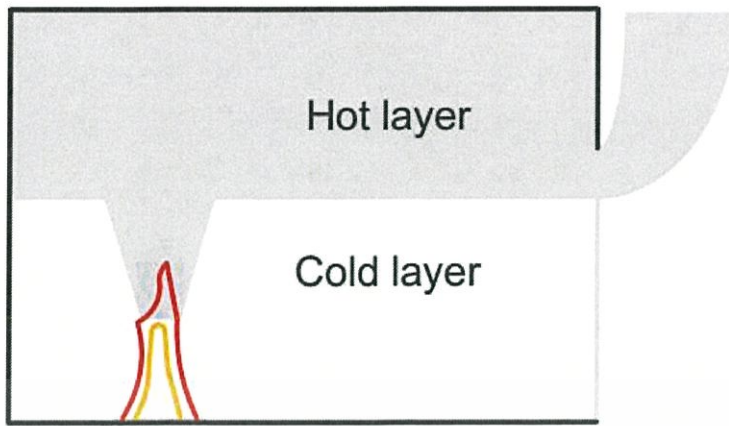
สำหรับค่า  $\phi < 1$  แสดงว่าช่องเปิดดังกล่าวสามารถระบายอากาศได้ดี สำหรับค่า  $\phi > 1$  แสดงว่าช่องเปิดดังกล่าวสามารถระบายอากาศได้ดีต่ำกว่าที่ควรจะเป็น สำหรับค่า  $\phi$  ที่อยู่ในช่วง  $0.03 < \phi < 0.20$  สามารถบ่งบอกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกันถึง 10 สถานการณ์ในการทดลอง NFSC2 และยังเป็นระบายอากาศที่ดี

### 2.3 แบบจำลองกองเพลิง (Plume Models) [6]

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองกองเพลิงมีไว้เพื่ออธิบายความสูงของ HGL โดยอาศัยแบบจำลองของ Heskestads และ Thomas

#### 2.3.1 แบบจำลอง Two Zone (Two Zone Model)

แบบจำลอง Two Zone คือแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ภายในพื้นที่ปิด รูปที่ 2.3 แสดงแนวคิดพื้นฐานของแบบจำลอง Two Zone

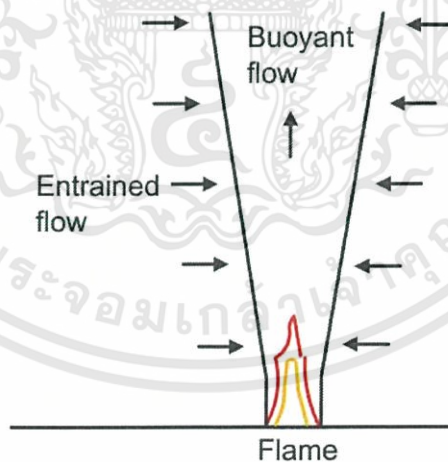


รูปที่ 2.3 แบบจำลอง Two Zone, พื้นที่ปิดจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนร้อนและส่วนเย็น โดยมีสมการอนุรักษ์ (Conservation Equation) จะเป็นตัวระบุเงื่อนไขระหว่างสองส่วนนี้ [6]

แบบจำลอง Two Zone สำหรับพื้นที่ปิดจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนร้อนบริเวณด้านบนและส่วนเย็นบริเวณด้านล่าง การเกิดของพื้นที่ทั้งสองส่วนนี้อาศัยแรงลอยตัว การหาผลเฉลยของพื้นที่ทั้งสองส่วนนี้จะอาศัยสมการอนุรักษ์ผสมผสานกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เช่น แบบจำลองกองเพลิง นอกจากนี้แบบจำลอง Two Zone ยังสามารถคำนวณหาค่า เช่น อุณหภูมิของแต่ละพื้นที่ ความสูงของชั้นควันได้ด้วย เป็นต้น

### 2.3.2 แบบจำลองกองเพลิง (Plume Models)

ปรากฏการณ์ของเพลิงไหม้สามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 2.4



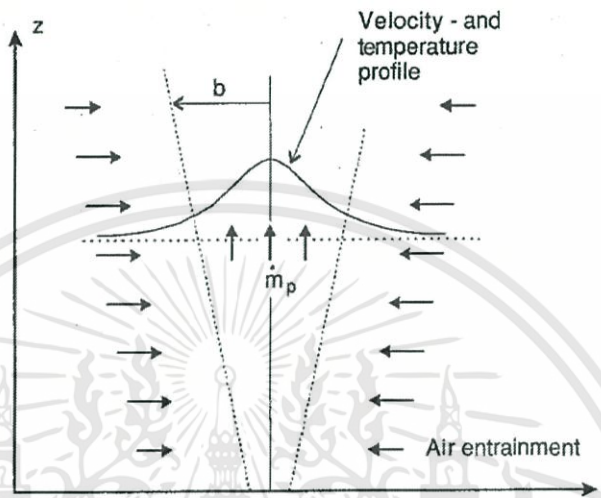
รูปที่ 2.4 แบบจำลองกองเพลิง แสดงการทิศทางลอยตัวขึ้นของควันและการไหลเข้าของอากาศโดยรอบ [6]

จากรูปที่ 2.4 กระบวนการเผาไหม้ทำให้เกิดเปลวไฟที่สามารถมองเห็นได้และเกิดการเผาไหม้ที่ร้อนขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่า เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้นและความหนาแน่นที่ลดลงของการเผาไหม้ทำให้ควันเกิดการลอยตัวขึ้นสูง อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าจึงไหลเข้าแทนที่และเจือจางความเข้มข้นของควันดังกล่าว

แบบจำลองกองเพลิงถูกแบ่งให้เหมาะสมกับเหตุการณ์เพลิงไหม้ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ แบบจำลองพื้นฐานที่สุดในงานวิศวกรรมอัคคีภัย คือ Buoyant Axisymmetric Plume ซึ่งกล่าวถึง การกระจายตัวของเปลวไฟ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงและออกซิเจนผสม

### 2.3.3 แบบจำลองกองเพลิงอุดมคติ (Ideal Plume Model)

ลักษณะของ Buoyant Axisymmetric Plume แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ Ideal Plume Model [6]

การวิเคราะห์หาผลเฉลยสำหรับอุณหภูมิ ความเร็ว รัศมีการกระจายตัว และการไหลเชิงมวล สามารถหาค่าตอบได้โดยอาศัยสมมติฐานต่อไปนี้

- 1) พลังงานทั้งหมดจากจุดกำเนิดเปลวไฟจะส่งต่อพลังงานกันเฉพาะในแบบจำลองกองเพลิงและ ไม่มีการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี
- 2) การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของกองเพลิงถือว่าน้อยและสามารถคำนวณได้เฉพาะเมื่อ ความแตกต่างของ  $\rho_{\infty} - \rho$  แสดงในสมการ Ideal Plume Model
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ( $T$ ) กับความเร็ว ( $u$ ) มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ (Top Hat Profile) นอกจากนี้เราสมมติให้  $u=0$  และ  $T=T_{\infty}$  เมื่ออยู่นอกบริเวณรัศมีการกระจายตัวของกองเพลิง
- 4) ความเร็วของการไหลเข้าของอากาศเย็น ( $v$ ) คือ  $v=\alpha u$  เมื่อ  $\alpha=0.15$

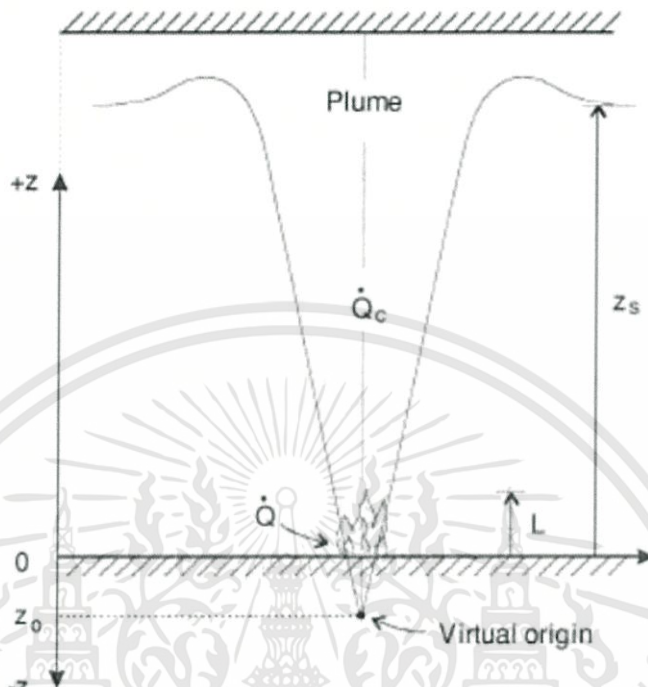
แบบจำลองกองเพลิงอุดมคตินี้ขึ้นกับสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และ สมการโมเมนตัมและแรงลอยตัว (Momentum-Buoyancy Equation)

### 2.3.4 Heskestads Plume Model

Heskestads Plume Model เป็นส่วนหนึ่งของบางสมมติฐานของ Ideal Plume Model โดยมีการประยุกต์ ดังนี้

- 1) จุดกำเนิดเปลวไฟจะถูกแทนที่ด้วยจุดกำเนิดเสมือน (Virtual Origin) ที่ความสูง  $z_0$
- 2) Boussinesq จะถูกลบออกเพื่อให้  $\rho_{\infty} \neq \rho$

- 3) เพิ่มอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการพาความร้อน  $\dot{Q}_c$
- 4) ใช้รูปแบบของเกาส์เซียน (Gaussian Profile) อธิบายแทนรูปประฆังคว่ำ และ  $\Delta T_0$  คือ อุณหภูมิที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกองเพลิง (Centreline Plume)



รูปที่ 2.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาการวิเคราะห์หาผลเฉลยของ Heskestad Plume Model [6]

ความสูงของจุดกำเนิดเสมือนกำหนดโดยสมการ (2.3)

$$z_0 = 0.083 \dot{Q}^{2/5} - 1.02D \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\dot{Q}$  คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนรวม [kW]

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดกำเนิดเปลวไฟ [m]

สำหรับการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลจาก Heskestad Plume Model สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือความสูงเฉลี่ยของเปลวเพลิง ดังสมการ (2.4) ซึ่งความสูงของเปลวเพลิงได้มาจาก Ideal Plume Model

$$L = 0.253 \dot{Q}^{2/5} - 1.02D \quad (2.4)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความสูงเฉลี่ยของเปลวเพลิง [m]

การประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลของกองเพลิงมีความสัมพันธ์อัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการพาความร้อน  $\dot{Q}_c$  ขณะเกิดการลอยตัว การหาค่าพลังงานที่ปลดปล่อยจากการพาความร้อน

ร้อนจึงต้องทราบพลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 20 ถึง 40 ของพลังงานที่ปลดปล่อยทั้งหมด ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการพาความร้อนมีค่าขอบเขต แสดงในสมการ (2.5)

$$\dot{Q}_c = 0.6\dot{Q}, \quad \dot{Q}_c = 0.8\dot{Q} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\dot{Q}_c$  คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการพาความร้อน [kW]

อัตราการไหลเข้าของอากาศเย็นเข้าไปในบริเวณความสูงที่ต่ำกว่าความสูงเฉลี่ยของกองเพลิง ( $z < L$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.6)

$$\dot{m}_p = 0.0056\dot{Q}_c \frac{z}{L} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\dot{m}_p$  คือ อัตราการไหลของกองเพลิง [ $\frac{kg}{s}$ ]

$z$  คือ ความสูงที่เกิดการไหลเข้าของอากาศเย็น [m]

อัตราการไหลเข้าของอากาศเย็นเข้าไปในบริเวณความสูงที่สูงกว่าความสูงเฉลี่ยของกองเพลิง ( $z > L$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.7)

$$\dot{m}_p = 0.071\dot{Q}_c^{1/3} (z - z_0)^{5/3} + 1.92 \cdot 10^{-3}\dot{Q}_c \quad (2.7)$$

Heskestads Plume Model นั้นสามารถคำนวณคาร์คิมของกองเพลิง อุณหภูมิที่เส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วที่เส้นผ่านศูนย์กลางได้ด้วย

## 2.4 แบบจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย (Fire Dynamics Simulator : FDS) [7]

แบบจำลองพลศาสตร์อค์คิภัยเป็นโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) สำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้สมการเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเป็นการไหลที่มีความเร็วต่ำ

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

### 2.4.1 สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation)

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (2.8)$$

สมการอนุรักษ์สปีชีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + m_i^m \quad (2.9)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nabla \cdot \bar{\mathbf{p}} = \mathbf{f} + \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}} \quad (2.10)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{dp}{dt} + \dot{q} + \nabla \cdot \mathbf{k} \nabla T + \nabla \cdot \sum_i \rho h_i D_i \nabla Y_i - \nabla \cdot \bar{\mathbf{q}}_r \quad (2.11)$$

เมื่อ	$\rho$	คือ ความหนาแน่น (Density)	
	$\bar{\mathbf{u}}$	คือ เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity Vector)	
	$Y_i$	คือ เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ $i$ (Mass Fraction)	
	$m_i^m$	คือ อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ $i$ (Mass Production Rate of $i$ Species per Unit Volume)	
	$D_i$	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ $i$ (Diffusion Coefficient)	
	$\bar{\mathbf{f}}$	คือ แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล	
	$\bar{\boldsymbol{\tau}}$	คือ แรงเค้นเฉือน (Viscous Stress Tensor)	
	$h$	คือ เอนทาลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)	
	$\bar{\mathbf{q}}_r$	คือ ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Flux Vector)	
	$k$	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)	
	$T$	คือ อุณหภูมิ (Temperature)	

การใช้โปรแกรม FDS ต้องกำหนดโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) และค่าขอบเขต (Boundary Conditions) โดยโปรแกรมจะทำการแบ่งโดเมนออกเป็นปริมาตร (Finite Volume) ขนาดเล็กจำนวนมากเรียกว่าการสร้างกริด (Grid Generation) ในสภาวะต่างๆ ภายในปริมาตรที่จำกัด จะถูกคำนวณโดยใช้สมการข้างต้นทั้งนี้จำนวนกริดหรือขนาดกริดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองจะต้องได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงตามทฤษฎีรวมถึงมีระยะเวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ที่เหมาะสม

## 2.4.2 ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES)

โปรแกรม FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ในการคำนวณ แบบจำลองเชิงตัวเลขมี 2 ระเบียบวิธีที่นำมาใช้พิจารณา คือ ค่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic Viscosity) หรือ  $\mu$  ได้แก่ ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) และระเบียบวิธี Direct Numerical Simulation (DNS) โดยระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับการจำลองเพลิงไหม้สำหรับพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor Fire Model) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Sub Grid Scale Model ของ Smagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนในส่วนของ การเผาไหม้ เพื่อแก้ปัญหาขนาดกริดที่ไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรม การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศได้ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ของ Smagorinsky ค่าความหนืดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\mu_{LES} = \rho(C_s \Delta)^2 [2(\text{defu}) \cdot (\text{defu}) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot u)^2]^{1/2} \quad (2.12)$$

โดย  $C_s$  เป็นค่าคงที่ของ Smagorinsky,  $\Delta$  เป็นขนาดของ Filter และพจน์แปลงรูปสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจาย (Dissipation Function) ดังสมการที่ (2.12) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการกระจายเป็นการถ่ายโอนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อน ในระเบียบวิธี LES ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สสาร (Material Diffusivity) จะสัมพันธ์กับค่าความหนืดแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) ในการคำนวณจะกำหนดให้ Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) มีค่าคงที่ ในการจำลอง FDS ค่าคงที่ของ Smagorinsky จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 ตลอดทุกกรณี

## 2.4.3 แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction)

แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction) โดย FDS ใช้แบบจำลองบนสมมติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกัน (Mixed Controlled) เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical Reaction) ได้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคาร (Fire and Flow in Outdoor) FDS สามารถให้มวลเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อให้จำลองสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของมวลกับสารผสมเรียกว่าความสัมพันธ์สถานะ (State Relation) ความสัมพันธ์สถานะที่เกิดจาก เปลวไฟที่แพร่แบบราบเรียบ (Laminar Diffusion Flame) เป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้นซึ่งนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์เปลวไฟโดย อัตราการปล่อย พลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้จากอัตราการใช้ออกซิเจนที่ผิวหน้าของ เปลวไฟโดยใช้ สมมติฐานว่าทั้งสองค่านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน และไม่ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงซึ่งรูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้แสดงได้ดังสมการ

จากสมการปริมาณสัมพันธ์ อัตราการใช้เชิงมวลของเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์ สัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{m_F^m}{v_F M_F} = \frac{m_O^m}{v_O M_O} \quad (2.13)$$

ความสัมพันธ์สถานะสำหรับทั้งตัวทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์สามารถอนุพันธ์ (Derived) โดยพิจารณาปฏิกิริยาอุดมคติของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน

$$C_x H_y + \eta(x+y/4)(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow \max(0, 1-\eta) C_x H_y + \min(1, \eta) x CO_2 + \min(1, \eta) \left(\frac{y}{2}\right) H_2 O + \max(0, \eta-1) \left(x + \frac{y}{4}\right) O_2 + \eta(x+y/4) 3.76 N_2 \quad (2.14)$$

พารามิเตอร์  $\eta$  มีค่าตั้งแต่ 0 ซึ่งแสดงสถานะที่มีแต่เชื้อเพลิงไม่มีออกซิเจนถึง  $\alpha$  ซึ่งแสดงถึงสถานะที่มีแต่ออกซิเจน และไม่มีเชื้อเพลิง การสมนัยกันระหว่าง  $\eta$  และ  $Z$  สามารถหาได้โดยการใช้ नियามของ  $Z$  เพื่อหาสัดส่วนผสมดังสมการ (2.15) กับฝั่งซ้ายของสมการ (2.14) และสัดส่วนเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ได้จากฝั่งขวาของสมการ (2.14)

$$Z = \frac{s Y_F (Y_O - Y_O^\alpha)}{s Y_F + Y_O^\alpha}; \quad s = \frac{v_O M_O}{v_F M_F} \quad (2.15)$$

นิพจน์ของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน สามารถอนุพันธ์ได้จากสมการการอนุรักษ์และความสัมพันธ์สถานะของออกซิเจน ซึ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเป็นฟังก์ชันของอัตราการใช้ออกซิเจน

$$\dot{q}^m = \Delta H_o \dot{m}_o^m \quad (2.16)$$

โดย  $\Delta H$  คืออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งมีค่าประมาณ 13,100 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

จากการอนุรักษ์เชิงมวลของออกซิเจน คือ

$$\rho \frac{DY_o}{Dt} = \nabla \rho \nabla Y_o + \dot{m}^m \quad (2.17)$$

สัดส่วนสารผสมเป็นไปตามกฎอนุรักษ์ ซึ่งได้มาจากสมการอนุรักษ์การรวม เชิงเส้นของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \rho D \nabla Z \quad (2.18)$$

สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นนิพจน์ของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน โดยใช้สมการอนุรักษ์ของสารผสม (2.18) และความสัมพันธ์สถานะของออกซิเจน  $Y_o(Z)$

$$-\dot{m}_o^m = \nabla \left( \rho D \frac{dY_o}{dz} \nabla Z \right) - \frac{dY_o}{dz} \nabla \rho D \nabla Z = \rho D \frac{d^2 Y_o}{dz^2} |\nabla Z|^2 \quad (2.19)$$

สำหรับแบบจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Fires and Flows in Outdoor) ในการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor) มีลักษณะไม่แตกต่างกับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (Indoor) เนื่องจากมีหลายตัวแปร (Parameters) ที่คล้ายกัน แต่ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคารสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นไปสภาพจริงที่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในโปรแกรม FDS สามารถกำหนดเงื่อนไขที่เกี่ยวกับความเร็วลมได้โดยใช้คำสั่ง Profile ในบรรทัดของคำสั่ง SURF ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะของลมได้เช่น Profile = 'Parabolic' จะสร้างลมที่มีลักษณะโค้งจากสมการที่ (2.20)

$$u(z) = u_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^p \quad (2.20)$$

โดยใช้  $u(z)$  คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที,  $u_0$  คือ ความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที,  $z$  คือความสูงของระดับต่างๆที่สนใจมีหน่วยเป็นเมตร,  $z_0$  คือความสูงทั้งหมดของวัตถุมีหน่วยเมตร และ  $p$  คือ ฟังก์ชันของพื้นผิววัตถุ

#### 2.4.4 ตัวแปรไร้หน่วยในการจำลองเพลิงไหม้ (Dimensionless Parameter in Fire Phenomenon)

การใช้ขนาด ( $\Delta z$ ) ที่เหมาะสมนอกจากจะจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของลำควันได้แล้วขนาดของกริดที่เหมาะสมบอกถึงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเพลิงไหม้ซึ่ง Ma and Quintiere [8] ได้ใช้ FDS (Version 2) จำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool Fire) และการเคลื่อนที่ของลำควันโดยเสนอไร้หน่วย  $R^*$  เพื่อเป็นตัวแปรที่รวมขนาดของกริดและอัตราปล่อยพลังงานความร้อนเข้าด้วยกันตามสมการดังนี้

$$R^* = \frac{\Delta z}{\left( \frac{\dot{Q}}{\rho_o C_T T_o \sqrt{g}} \right)^{2/5}} \quad (2.21)$$

โดย  $R^*$  คือ ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย,  $\Delta z$  คือขนาดของกริด,  $\dot{Q}$  คืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อน  $\rho_o$ ,  $T_o$  และ  $C_T$  คือความหนาแน่น, อุณหภูมิ และ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง และ  $g$  คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

Ma and Quintiere พบว่า  $R^* = 0.05$  จะให้ผลการคำนวณของอุณหภูมิของลำควันในช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame) มีความแม่นยำสูงสุด ทั้งนี้เพราะขนาดกริดสามารถจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเปลวไฟได้ อย่างไรก็ตามในการจำลองเพลิงไหม้ของการวิจัยนี้ค่า  $R^*$  ดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก และนอกจากนี้ผลการคำนวณที่สนใจจะอยู่ในช่วงลำควัน (Plume) ซึ่งสามารถใช้ขนาดกริดที่ใหญ่กว่าได้ เพราะในช่วงที่ลำควันมีขนาดใหญ่กว่าช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame)

#### 2.5 การเลือกขนาดกริดที่เหมาะสมและข้อจำกัดของโปรแกรม FDS [9]

กริด (Mesh) สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ Uniform MESH คือ กริดที่มีความสม่ำเสมอภายในกล่องที่สร้างขึ้น และ Non-uniform MESH คือ กริดที่มีขนาดแตกต่างกันภายในกล่องสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้น โดยประสิทธิภาพของโปรแกรม Pyrosim จะมีผลมาจากการกำหนดขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กริดที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญของการคำนวณ โดยใช้ Poisson solver based on Fast Fourier Transforms (FFTs) ในทิศทาง  $y$  และ  $z$  มิติที่ 2 และ 3 ของกริด (Mesh) ควรจะมาจากแบบฟอร์ม  $2^l, 3^m, 5^n$  โดยที่  $l, m, n$  เป็นจำนวนเต็ม ยกตัวอย่างเช่น  $64=2^6$ ,  $72=2^3 \cdot 3^2$ ,  $108=2^2 \cdot 3^3$

2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20	24	25
27	30	32	36	40	45	48	50	54	60	64	70	75	80	81
90	96	100	108	120	125	128	135	144	150	160	162	180	192	200
216	225	240	243	250	256	270	288	300	320	324	360	375	384	400
405	432	450	480	486	500	512	540	576	600	625	640	648	675	720
729	750	768	800	810	864	900	960	972	1000	1024				

รูปที่ 2.7 แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมายกกำลัง 2,3,5 [9]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

E Cui และ W. K. Chow ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของควันภายในท่าอากาศยาน ภายใต้เงื่อนไขที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ คือ CC-EXACT โดยการจำลองชุดแรกมีการเติมควันเข้าพื้นที่และปิดระบบระบายอากาศเพื่อทำความเข้าใจการไหลของควันจนเต็มพื้นที่ การจำลองชุดที่สองมีการติดตั้งระบบระบายอากาศเข้าไปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการจำลองชุดแรก ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจริง พบว่าผลจากการจำลองให้ค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริง ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงเหมาะสมกับการศึกษาการเคลื่อนที่ของควันภายในห้องขนาดใหญ่ [10]

ชัยพฤกษ์ สุฤทธิกุล ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันเนื่องจากเพลิงไหม้ภายในโรงไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) จำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ที่เลวร้ายที่สุด บริเวณห้องปัมน้ำมันหล่อลื่นบนชั้น 3 ของอาคารโรงไฟฟ้า โดยกำหนดเพลิงไหม้ขนาด 10 50 และ 131 MW โดยแบ่งการจำลองเป็น 3 กรณี คือ อาคารไม่ติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ อาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีธรรมชาติ และอาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟโดยวิธีทางกล ผลจากการจำลองกรณีที่เลวร้ายที่สุด คือ เพลิงไหม้ขนาด 131 MW ผลจากการจำลองพบว่า ในกรณีที่อาคารไม่ได้ติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ ควันไฟสามารถแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งชั้นภายใน 240 วินาที ทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถอพยพออกจากอาคารได้ทันเวลา อุณหภูมิเฉลี่ยควันไฟ  $690\text{ }^{\circ}\text{C}$  สำหรับกรณีที่อาคารติดตั้งระบบควบคุมควันไฟ ควันไฟสามารถแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งชั้นภายใน 475 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานเพียงพอสำหรับการอพยพของผู้ปฏิบัติงาน อุณหภูมิเฉลี่ยควันไฟมีค่าลดลงเป็น  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$  [11]

เกษมศานต์ ปทุมรักษ์ ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของควันไฟส่วนบนและความสูงของห้อง ควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารที่มีการใช้ของเหลวไวไฟของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง โดยให้ความสนใจไปที่ 3 ห้อง ได้แก่ ห้องที่มีการกวนและผสมของเหลวไวไฟโดยตรง 2 ห้อง และห้อง ที่มีกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารปรอทที่อาจเกิดผลกระทบทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหาก เกิดเหตุอัคคีภัย เพื่อเปรียบเทียบผลของการจำลองระหว่างโปรแกรม Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (CFAST) และ FDS จากการจำลองพบว่า ผลที่ได้จากโปรแกรมทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน [12]

สุรชัย วัฒนดิเรก ได้ทำการศึกษาการจำลองควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข Large Eddy Simulation (LES) ด้วยโปรแกรม FDS เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดกริด 0.05 0.025 และ 0.0125 เมตร ต่อผลของการคำนวณด้วยแบบจำลอง FDS และศึกษาผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของ กองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควันเอียง โดยจำลองกองเพลิงขนาด 75 15 22.5 และ 30 kW มีลมพัด ในแนวระดับที่ความเร็ว 0.59 0.89 และ 1.15 m/s จากการศึกษาพบว่าขนาดกริดมีผลต่อการ คำนวณ เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองกับผลจากการทดลองของ Oka และคณะ [13] แล้ว สำหรับขนาดกริด 0.0125 เมตร ซึ่งมีความละเอียดสูงสุด พบว่า มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 71.8% ส่วนผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของกองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควัน พบว่า เมื่อขนาดกอง เพลิงคงที่ มุมเอียงของลำควันจะแปรผันตามความเร็วลม มุมเอียงเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเร็วลมคงที่ มุมเอียงของควันจะแปรผกผันกับขนาดของกองเพลิง มุมเอียง มีค่าลดลงเมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น [7]

Xue-Peng Jiang, Hua-yun Ji, Zhi-Sheng Xu และ Xiao-Li Yang ได้ทำการศึกษาและ จำลองการควบคุมการไหลของควันไฟภายในอุโมงค์รถไฟ เมื่อเกิดการลุกไหม้ที่ขบวนรถไฟ ไฟ ารถไฟจะหยุดนิ่งที่ความชัน -3% โดยมีพัดลมที่ทางเข้าเพื่อเติมอากาศดี และพัดลมที่ทางออกเพื่อ ระบายอากาศเสีย Large eddy simulation ใช้เพื่อหาอุณหภูมิของควัน การมองเห็น และการ กระจายตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในอุโมงค์ โดยกำหนดความเร็วการถ่ายเทของพัดลมที่ 1m/s, 2m/s, 3m/s และ 4m/s ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศ 3m/s สามารถ มั่นใจได้ว่าผู้โดยสารสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยอุณหภูมิของควันที่สูงซึ่งอยู่ภายใต้เพดานไม่ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอุโมงค์ [14]

วีรวิทย์ หงษ์ทอง และ สุรชัย รดาการ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้และการ แพร่กระจายควันไฟภายในอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัด ชลบุรี ด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) โดยจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันภายในอาคารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณโถง atrium สำหรับกองเพลิง 3 ขนาด คือ กองเพลิงขนาด 2.2 MW 7.1 MW และ 14.2 MW พบว่า ถ้าพิจารณา เฉพาะอันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบระบายควันไฟ สำหรับกองเพลิงทุกขนาด แต่เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิในช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟ จะมีเพียงกอง เพลิงขนาด 2.2 MW เท่านั้นที่ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบระบายควันไฟ สำหรับกรณีกองเพลิงขนาด

7.1 MW นั้น การติดตั้งระบบระบายควันทางกลเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอ ส่วนกองเพลิงขนาด 14.2 MW จะต้องติดตั้งระบบระบายควันทางกลร่วมกับบ่อดักควัน จึงจะทำให้อุณหภูมิควันไฟเฉลี่ยที่ช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นจึงมีค่าต่ำกว่า 49 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงการแพร่กระจายของควันพบว่า ทุกขนาดกองเพลิงจำเป็นต้องติดตั้งระบบระบายควันทางกล ร่วมกับบ่อดักควันและม่านกันควันจึงจะทำให้ช่องทางเดินไปสู่ทางหนีไฟของทุกชั้นปลอดภัย และหากปิดหน้าต่างด้านหลังอาคารร่วมด้วยจะทำให้อาคารปลอดภัยยิ่งขึ้นสำหรับกองเพลิงขนาด 2.2 MW [15]



### บทที่ 3

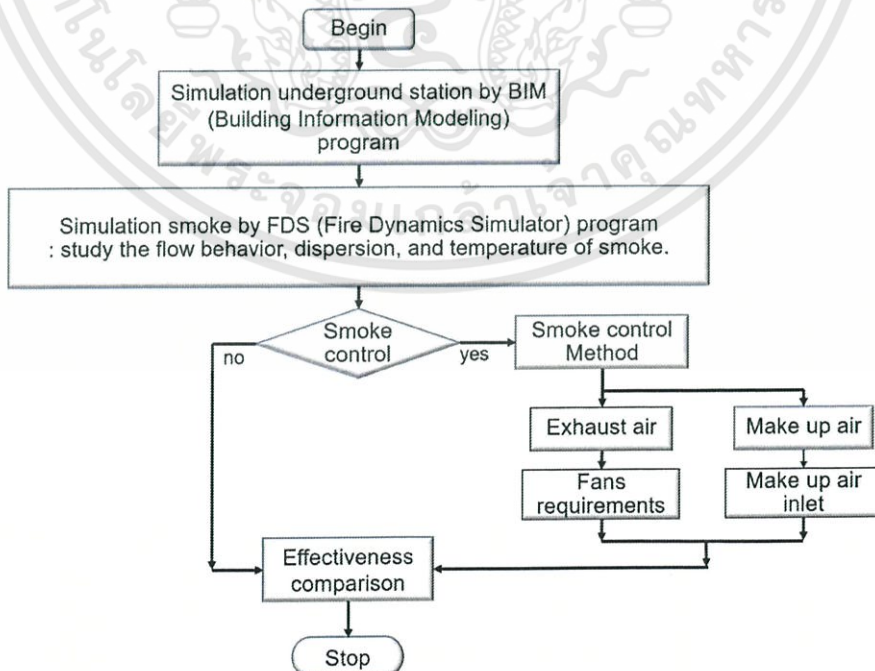
#### วิธีดำเนินการวิจัย

เทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาสำหรับการออกแบบอาคารด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้สอดคล้องและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทั้งในเรื่องของแนวคิดของการออกแบบ เวลาในการทำงาน การควบคุมคุณภาพของงาน รวมถึงการประสานงานกับส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง โปรแกรม BIM เช่น Autodesk Revit Allplan ArchiCAD Tekla เป็นที่นิยมใช้กันมากในงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรม Autodesk Revit ในการจำลองแบบและปรับแก้แบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพราะเป็นโปรแกรมที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน มีเวอร์ชันให้ใช้งานสำหรับนักเรียนและนักศึกษา

สำหรับการสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator; FDS) โครงการวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม Pyrosim เพราะเป็นโปรแกรมที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน มีการตรวจสอบ (Validation) ที่น่าเชื่อถือ [16]

ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ดังนี้

1. สร้างจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินและการตั้งสมมติฐานการทดลองในแต่ละกรณี
2. การตั้งค่าภายในโปรแกรม Pyrosim
3. การติดตั้งระบบระบายอากาศ



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

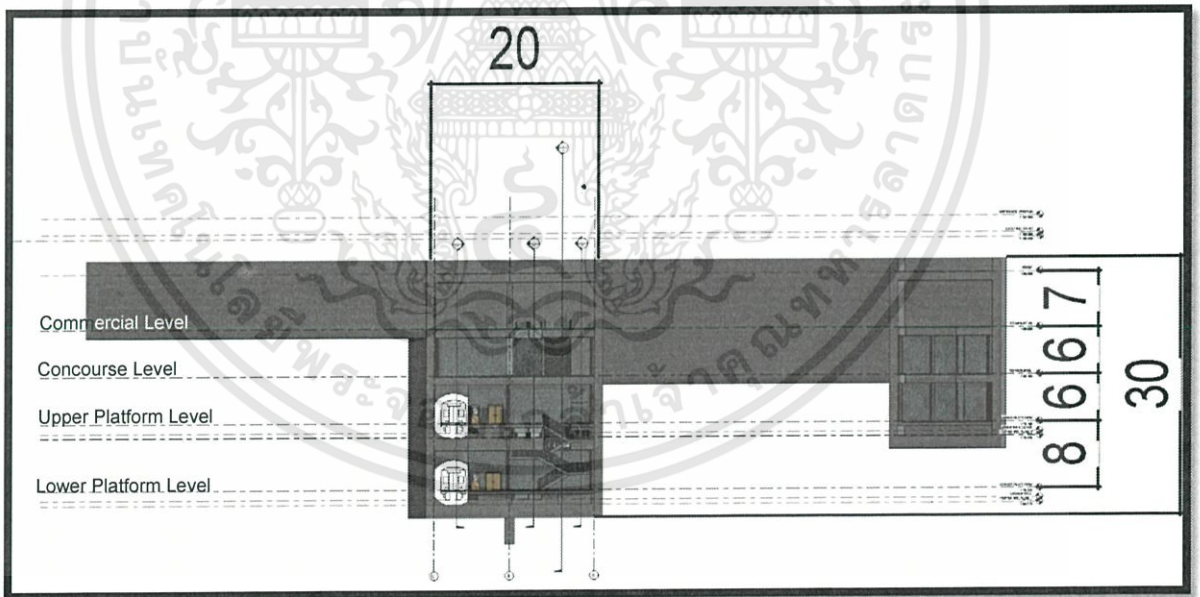
### 3.1 สร้างแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินและการตั้งสมมติฐานการทดลองในแต่ละกรณี

#### 3.1.1 แบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

##### 1) ลักษณะของสถานี

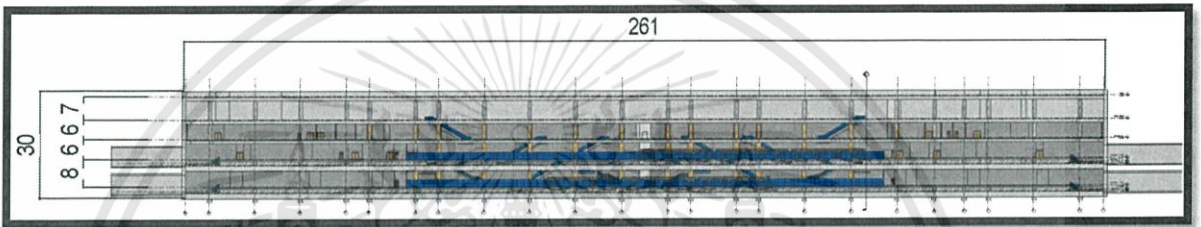
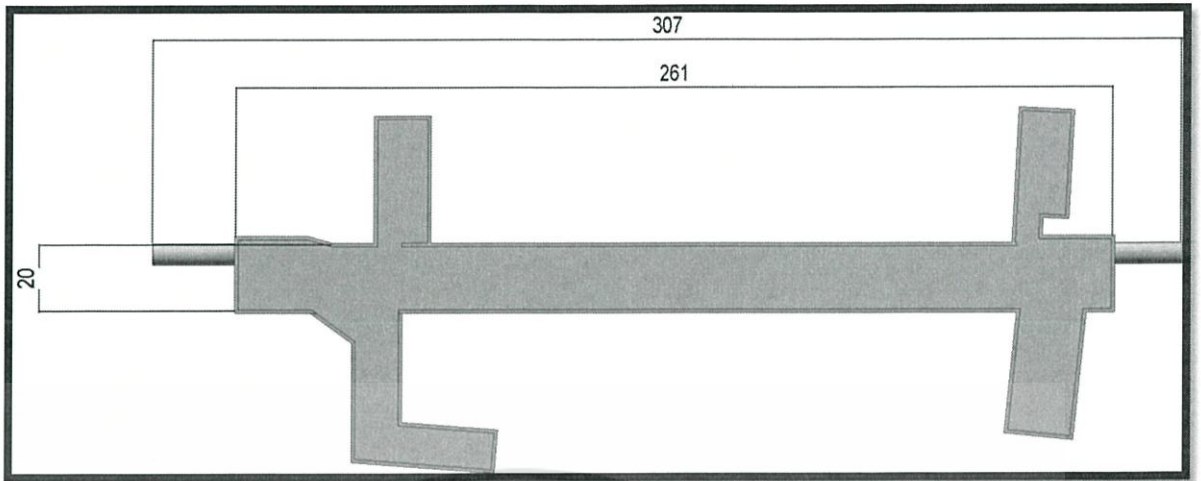
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่เลือกใช้ในโครงการวิจัยนี้เป็นสถานีแบบชานชาลาอยู่ด้านข้าง (Side Platform) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 การออกแบบสถานีเป็นไปตามมาตรฐานสากล NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems [4] ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของมาตรฐานนี้คือ

- เพื่อป้องกันผู้เข้ามาใช้ระบบ คือ ระบบจะต้องถูกออกแบบ ก่อสร้าง และคงอยู่เพื่อป้องกันผู้เข้าใช้ระบบซึ่งไม่คุ้นเคยกับการเกิดเพลิงไหม้ขั้นต้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการอพยพจากจุดเกิดเหตุหรือเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับอัคคีภัย
- ความสมบูรณ์ของโครงสร้าง สถานี ราง และพาหนะ จะต้องคงอยู่เพื่อผู้เข้ามาใช้ระบบซึ่งไม่คุ้นเคยกับเหตุเพลิงไหม้ขั้นต้นต้องใช้เวลาในการอพยพจากจุดเกิดเหตุหรือเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับอัคคีภัย
- ระบบจะถูกใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นจะต้องสามารถบรรเทาอันตรายหรือสามารถใช้งานได้ตามเงื่อนไข ระบบต้องมีความน่าเชื่อถือ จะต้องคงอยู่ไปถึงระดับที่ออกแบบไว้ และสามารถใช้งานได้

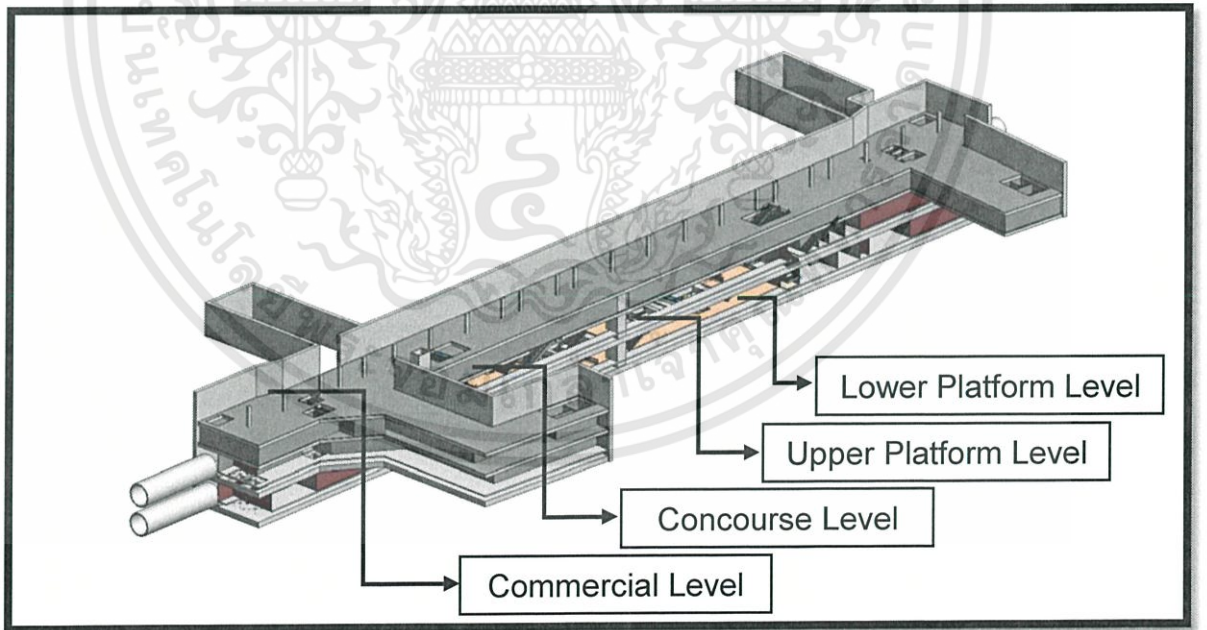


รูปที่ 3.2 สถานีแบบชานชาลาอยู่ด้านข้าง (Side Platform)

สถานีมีขนาดกว้าง 20 เมตร ยาว 261 เมตร ความลึกจากพื้นถนน 30 เมตร พื้นที่รวม 26,920 ตารางเมตร มีทางเข้า-ออกจากสถานี 3 ทาง สถานีแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นร้านค้า (Commercial Level) ชั้นขายบัตรโดยสาร (Concourse Level) ชานชาลาชั้นบน (Upper Platform Level) และชานชาลาชั้นล่าง (Lower Platform Level) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4



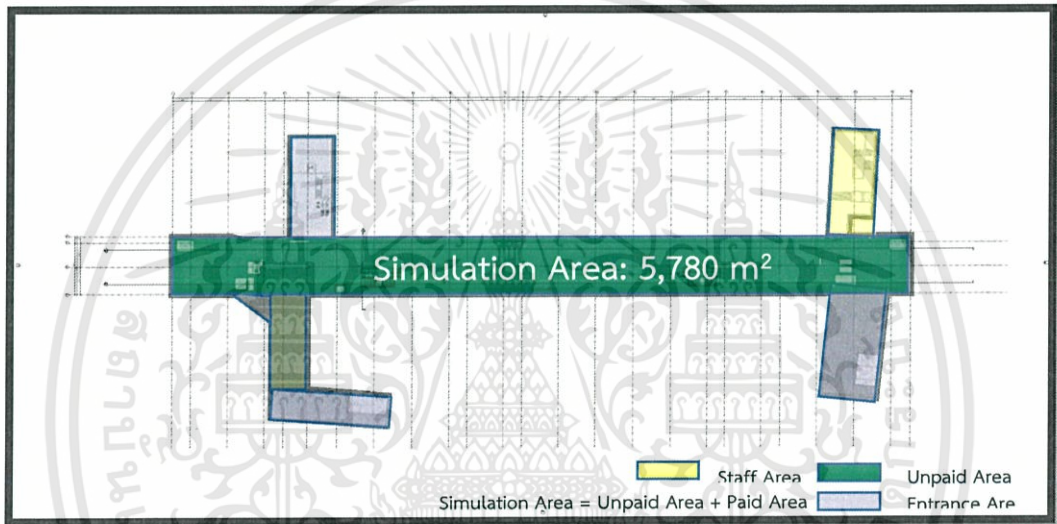
รูปที่ 3.3 ขนาดของอาคารรถไฟฟ้าใต้ดิน (ก) มุมมองด้านบน (Top View) (ข) มุมมองด้านหน้า (Front View)



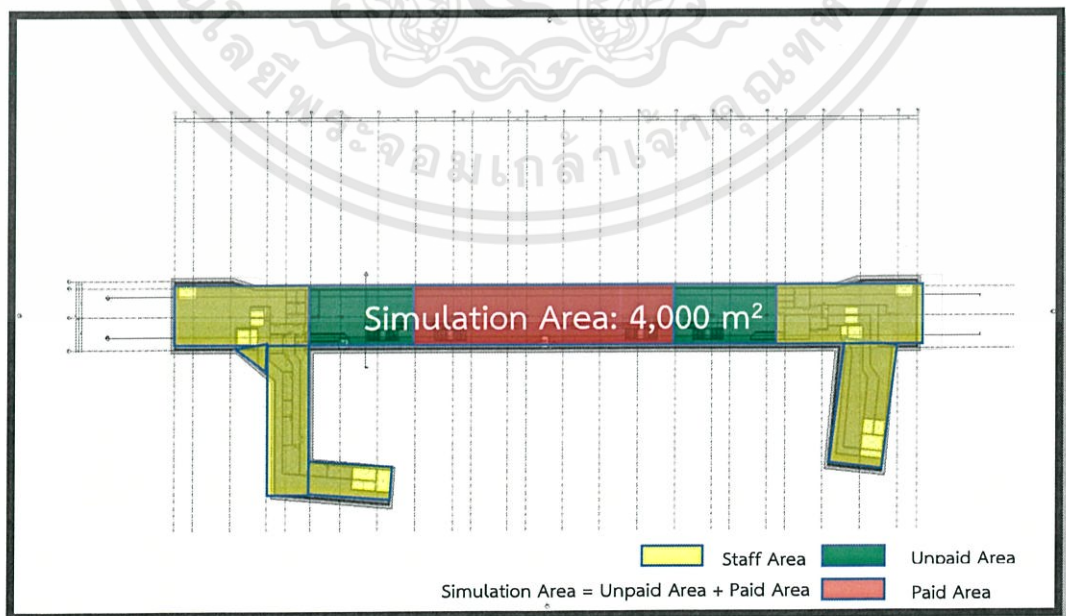
รูปที่ 3.4 สถานีแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นร้านค้า ชั้นขายบัตรโดยสาร ชานชาลาชั้นบน และชานชาลาชั้นล่าง

## 2) ลักษณะการใช้งานอาคาร (Occupancy)

วัตถุประสงค์หลักของสถานี คือผู้โดยสารขาเข้าและขาออกที่มารับบริการในระบบโดยปกติจะไม่ใช้เวลานานเกินความจำเป็นในการรอคอย และเมื่อเข้ามาในระบบแล้วจะโดยสารพาหนะออกจากสถานี ส่วนผู้โดยสารขาเข้าเมื่อมาถึงสถานีที่หมายแล้วจะออกจากสถานี ปัจจุบันสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินหลายแห่งนอกจากให้บริการด้านการขนส่งแล้ว ยังมีการให้บริการร้านค้า ซึ่งรู้จักกันในชื่อ เมโทรมอลล์ (Metro Mall) บริเวณชั้น Commercial อีกด้วย และบริเวณอาคารแต่ละชั้นจะมีส่วนของพนักงาน (Staff Area) ยกเว้นบนชั้น Commercial ซึ่งในส่วนนี้จะไม่นำมาพิจารณาในการจำลองเหตุการณ์ใหม่ เนื่องจากคว้นไม่สามารถไหลเข้าสู่บริเวณนี้ได้ เพราะมีประตูปิดกั้นและแบ่งสัดส่วนกันอย่างชัดเจน แสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 3.5 ถึง 3.8

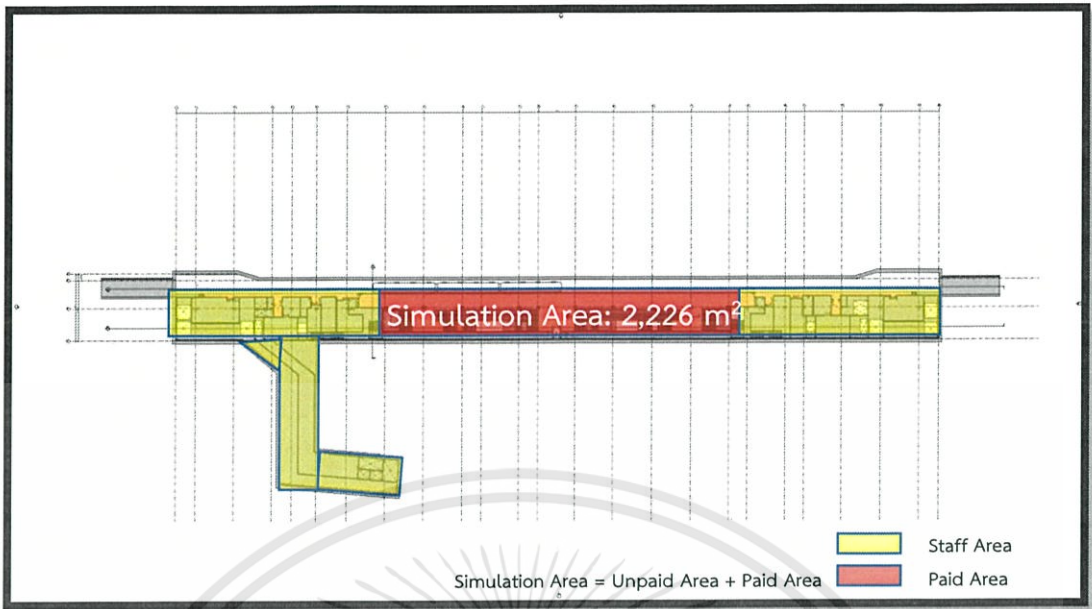


รูปที่ 3.5 แสดง Commercial Level มุมมองด้านบน (Top View)

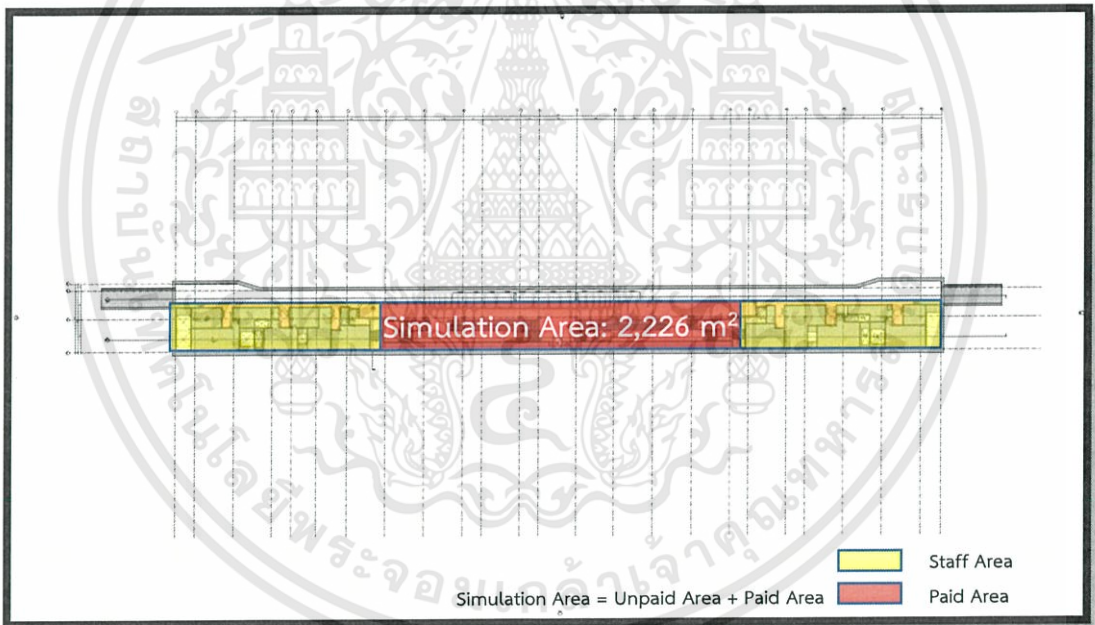


รูปที่ 3.6 แสดง Concourse Level มุมมองด้านบน (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดง Lower Platform Level มุมมองด้านบน (Top View)



รูปที่ 3.8 แสดง Upper Platform Level มุมมองด้านบน (Top View)

### 3.1.2 การตั้งสมมติฐานการทดลองในแต่ละกรณี

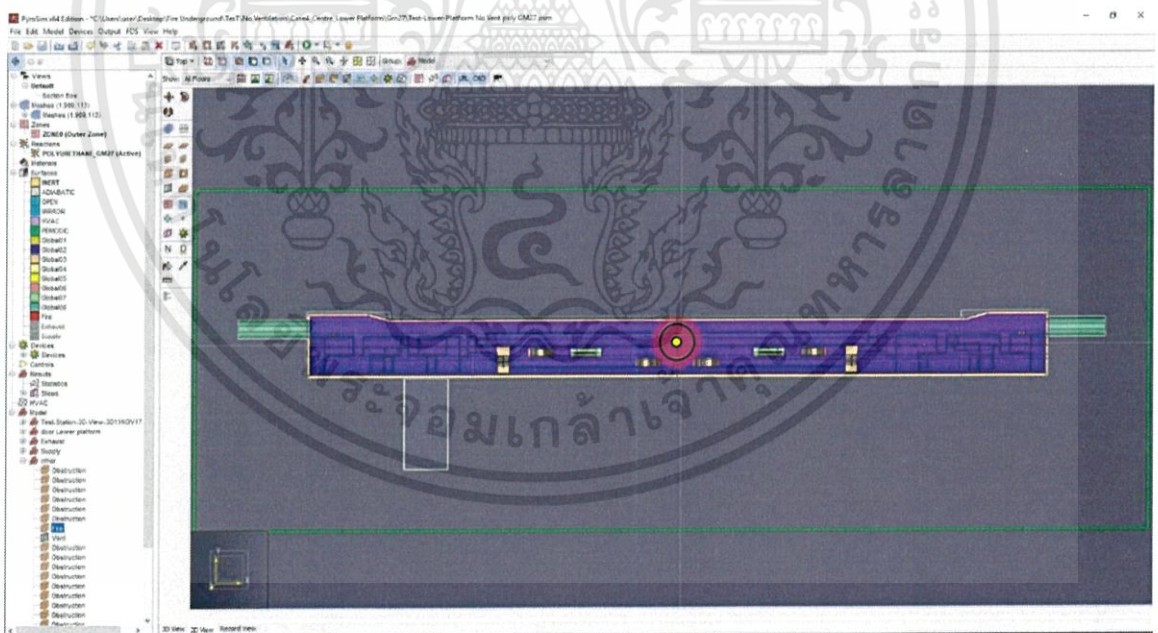
การตั้งสมมติฐานการทดลองในแต่ละเหตุการณ์เพลิงไหม้สำหรับโครงการวิจัยนี้ตั้งขึ้นโดยอ้างอิงจากสถานการณ์จริงที่เคยเกิดขึ้นและมีโอกาสเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รวมทั้งพิจารณาให้เกิดเหตุการณ์ในกรณีที่เลวร้ายที่สุด นั่นคือระบบดับเพลิงไม่สามารถทำงานได้ มีเฉพาะระบบระบายอากาศเท่านั้นที่สามารถทำงานได้ปกติ และกองไฟไม่มีการลามไฟ

ตารางที่ 3.1 แสดงกรณีศึกษาเหตุการณ์เพลิงไหม้

กรณีศึกษา
กรณีที่ 1 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศ)
กรณีที่ 2 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (ไม่มีระบบระบายอากาศ)
กรณีที่ 3 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศ)
กรณีที่ 4 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (ไม่มีระบบระบายอากาศ)
กรณีที่ 5 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (มีระบบระบายอากาศ)
กรณีที่ 6 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (ไม่มีระบบระบายอากาศ)

1) กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

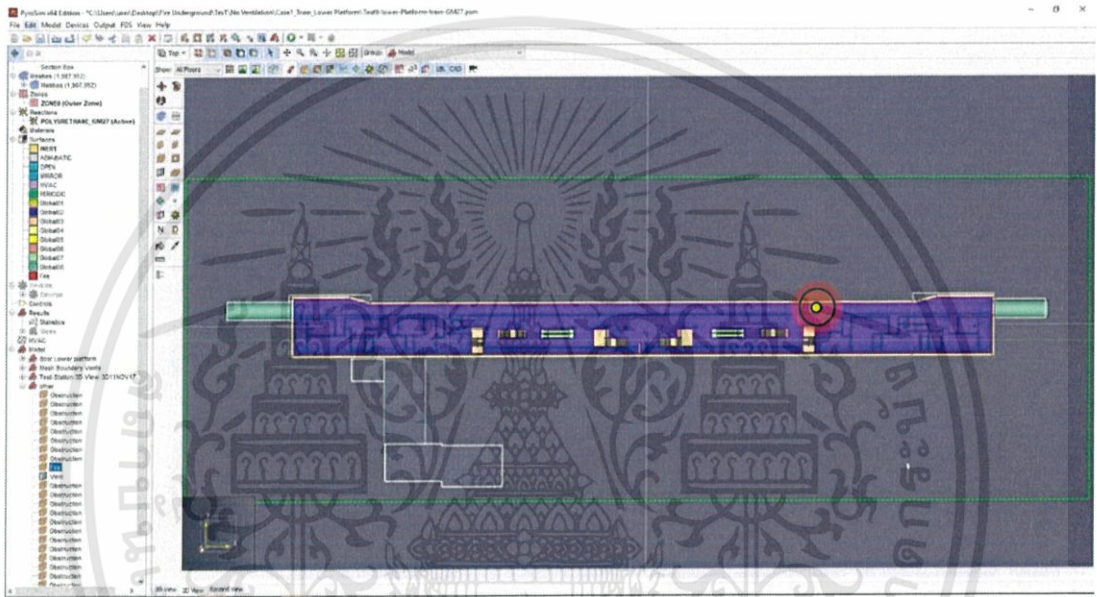
สถานการณ์ : เป็นการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform บริเวณบันไดเลื่อนซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีต เหตุการณ์นี้มีความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากในปัจจุบันบันไดเลื่อนได้มีการติดตั้งสปริงเกอร์ภายในตัวบันไดเลื่อนเองแล้ว แต่ก็ยังมีโอกาสเกิดขึ้นได้อยู่ จึงนำมาเป็นกรณีศึกษาโดยกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 เป็นการเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่จุดเดียวกัน แต่กรณีที่ 1 จะมีการทำงานของระบบระบายอากาศ ส่วนกรณีที่ 2 ไม่มีการทำงานของระบบระบายอากาศ การวางตำแหน่งของกองเพลิงภายในโปรแกรม Pyrosim ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform

## 2) กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4

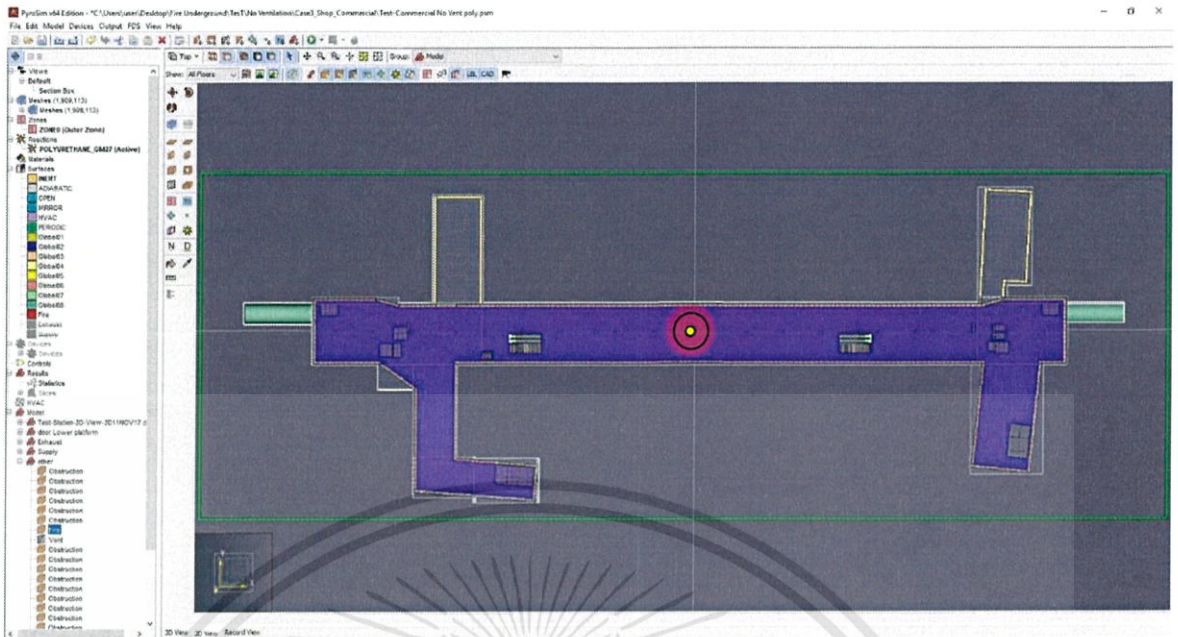
สถานการณ์ : เป็นการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform สำหรับกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 4 ซึ่งเป็นเหตุการณ์ตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่ต้องคำนึงถึงการเกิดเพลิงไหม้บริเวณทางรถไฟสำหรับการออกแบบ ในอดีตการเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์จะเกิดจากสาเหตุการไหม้ของหัวรถจักรหรือการขัดข้องของระบบไฟฟ้า ความเสี่ยงของเหตุการณ์นี้อยู่ในระดับปานกลาง จึงได้นำมาเป็นกรณีศึกษาโดยกรณีที่ 3 จะมีการทำงานของระบบระบายอากาศ ส่วนกรณีที่ 4 จะไม่มีการทำงานของระบบระบายอากาศ การวางตำแหน่งของกองเพลิงภายในโปรแกรม Pyrosim ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform

## 3) กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6

สถานการณ์ : เป็นการจำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial โดยในปัจจุบันพื้นที่ดังกล่าวได้มีการเปิดให้บริการร้านค้าประเภทต่างๆ เช่น ร้านจำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม ร้านเสริมสวย เป็นต้น ซึ่งมีความเสี่ยงค่อนข้างมากที่จะเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้ง่าย จึงเป็นที่มาของกรณีศึกษา โดยกรณีที่ 5 และ กรณีที่ 6 จะเป็นการเกิดเพลิงไหม้ที่จุดเดียวกัน ต่างกันที่กรณีที่ 5 จะมีการทำงานของระบบระบายอากาศ แต่กรณีที่ 6 จะไม่มีการทำงานของระบบระบายอากาศ การวางตำแหน่งของกองเพลิงภายในโปรแกรม Pyrosim ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการวางตำแหน่งของกองเพลิงบริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial

### 3.2 การตั้งค่าภายในโปรแกรม Pyrosim

#### 3.2.1 การนำไฟล์แบบจำลองสถานีเข้าไปในโปรแกรม Pyrosim

ทำการแปลงไฟล์ (Export) แบบจำลองในโปรแกรม Autodesk Revit ให้อยู่ในนามสกุล .dwg จากนั้นเปิดโปรแกรม Pyrosim แล้วทำการ Import ไฟล์ดังกล่าวเข้ามาในโปรแกรม

โครงการวิจัยนี้จะทำการจำลองการเกิดควันไฟภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Pyrosim ในเวลา 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems ตามมาตรฐาน กำหนดเวลาในการอพยพไว้ ดังนี้

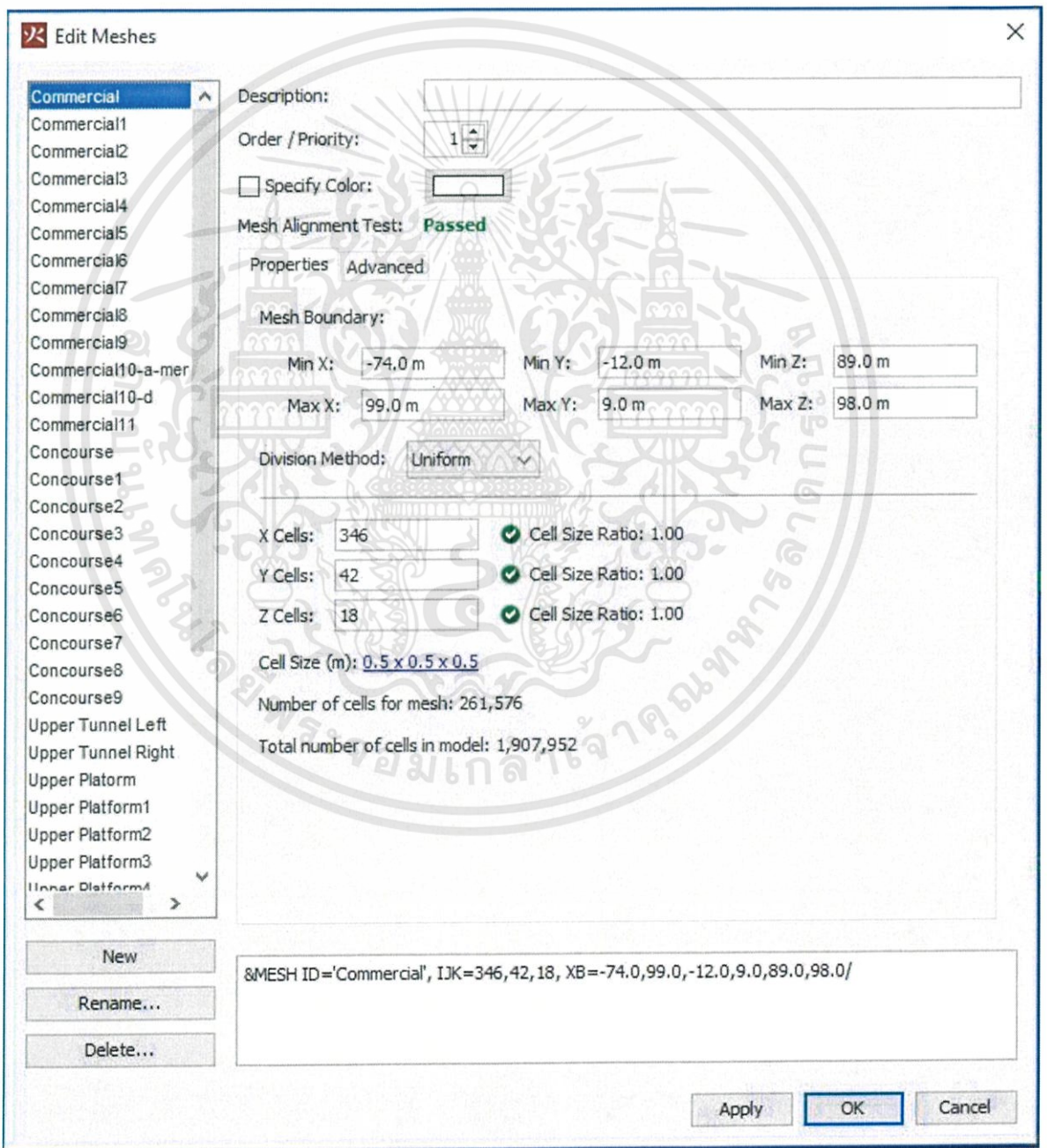
กรณีที่ 1 การอพยพประชาชนจากจุดไกลสุดในชั้นชานชาลาชั้นมาบนชั้นถัดไปจะต้องสามารถอพยพได้ในเวลาไม่เกิน 4 นาที

กรณีที่ 2 การอพยพประชาชนจากจุดไกลสุดในชั้นชานชาลาชั้นมาบนพื้นดินหรือ Point of Safety จะต้องสามารถอพยพได้ในเวลาไม่เกิน 6 นาที และบริเวณ Point of Safety จะต้องเตรียมระบบอุปกรณ์ทุกอย่างให้ประชาชนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย เช่น ระบบอากาศ ระบบดับเพลิงทุกชนิด รวมถึงระบบช่วยชีวิตทุกอย่าง เป็นต้น [4]

เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลจึงเปลี่ยนจุดปลอดภัยจากเดิมคือภายนอกอาคารมาไว้ในอาคาร บริเวณจุดปลายทางเข้า-ออกสถานี พิจารณาเฉพาะพฤติกรรมกรรมการไหลของควันไฟ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และทัศนวิสัยการมองเห็นเท่านั้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายควันไฟก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับการเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่แตกต่างกัน

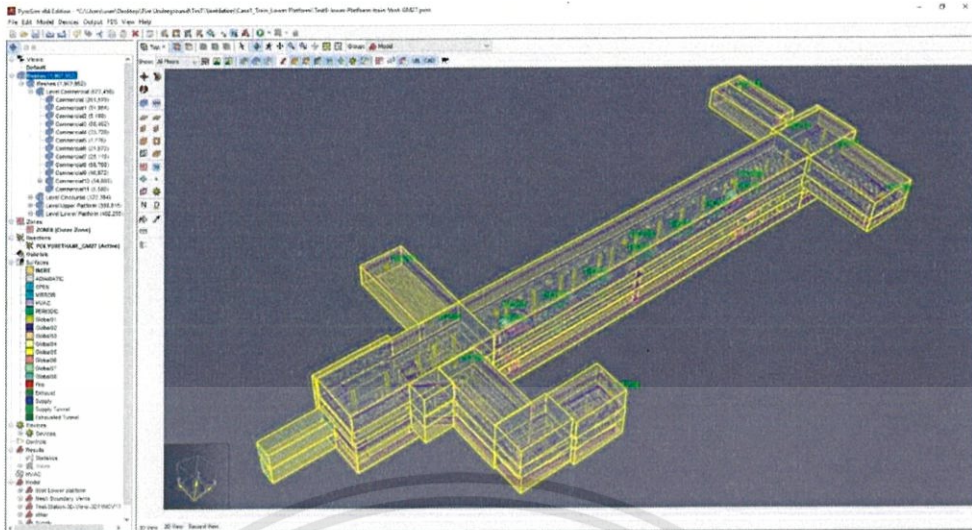
### 3.2.2 การกำหนดขนาด Mesh

ทำการกำหนดขนาด Mesh ของแบบจำลองสถานี โดยใช้ Mesh ขนาด  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  เมตร<sup>3</sup> ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมต่อการประมวลผล [16] เมื่อป้อนค่าลงไปโปรแกรมแล้ว โปรแกรมทำการประมวลผลที่ขนาดกริดดังกล่าวได้ Mesh ที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ไม่มีการใช้งานจำนวนมากและทำให้การประมวลผลของโปรแกรมช้า จึงทำการปรับ Mesh ให้พอดีกับรูปทรงของอาคารสถานีพอดีได้ Mesh จำนวน 1,909,113 เซลล์ แสดงการกำหนดค่าในรูปที่ 3.12 และการปรับ Mesh ให้พอดีกับโมเดลสถานี ในรูปที่ 3.13 สำหรับรูปที่ 3.14 ถึง 3.18 แสดงอาคารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินภายในโปรแกรม Pyrosim

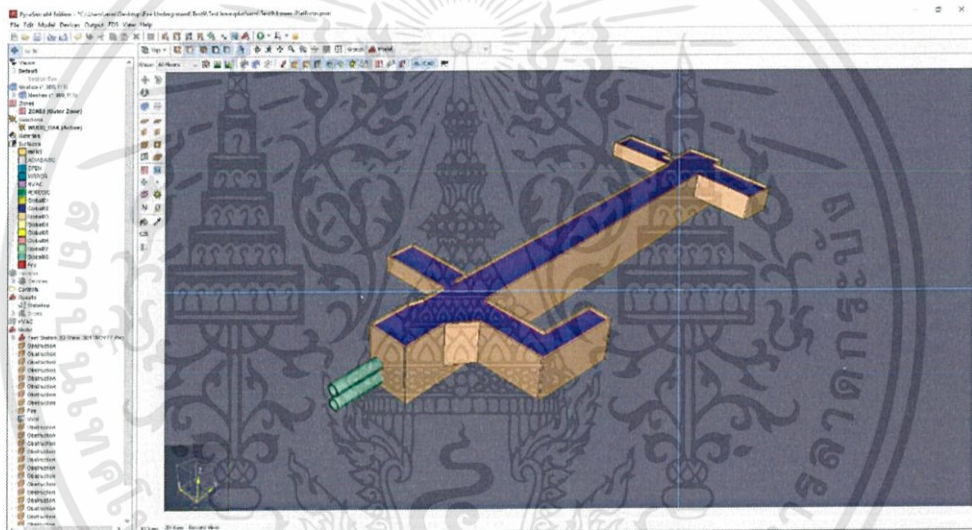


รูปที่ 3.12 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนด Mesh

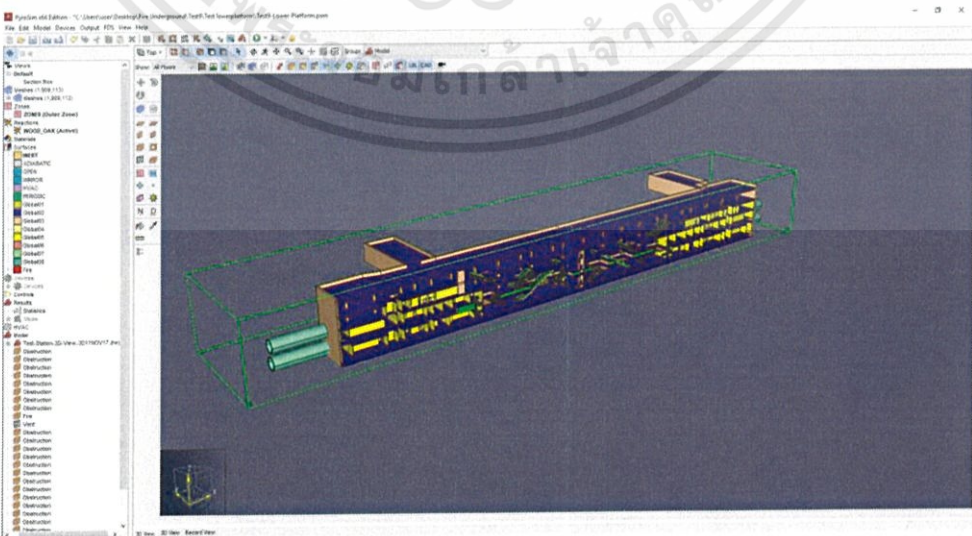
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการปรับ Mesh ให้พอดีกับโมเดลสถานี

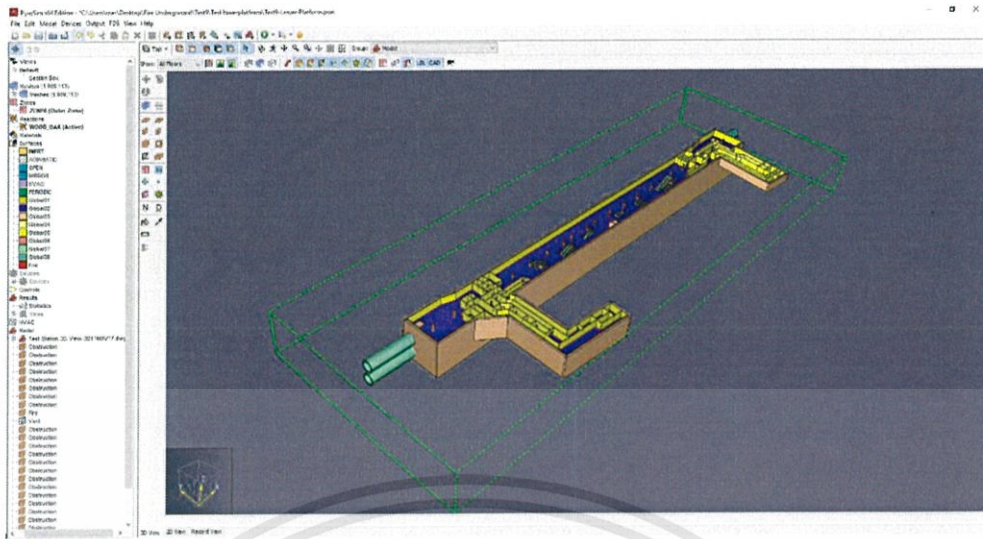


รูปที่ 3.14 แสดงแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินภายในโปรแกรม Pyrosim

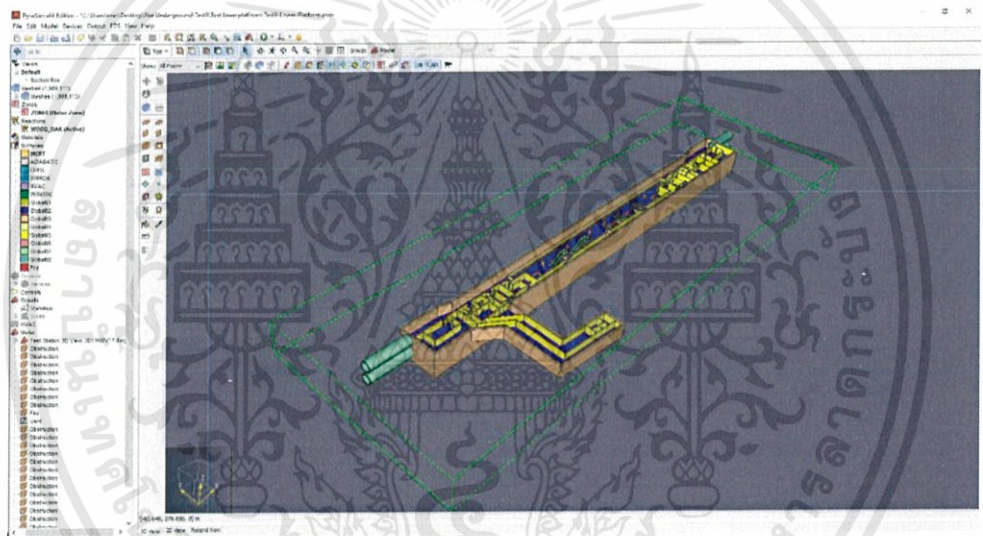


รูปที่ 3.15 แสดงด้านในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินภายในโปรแกรม Pyrosim

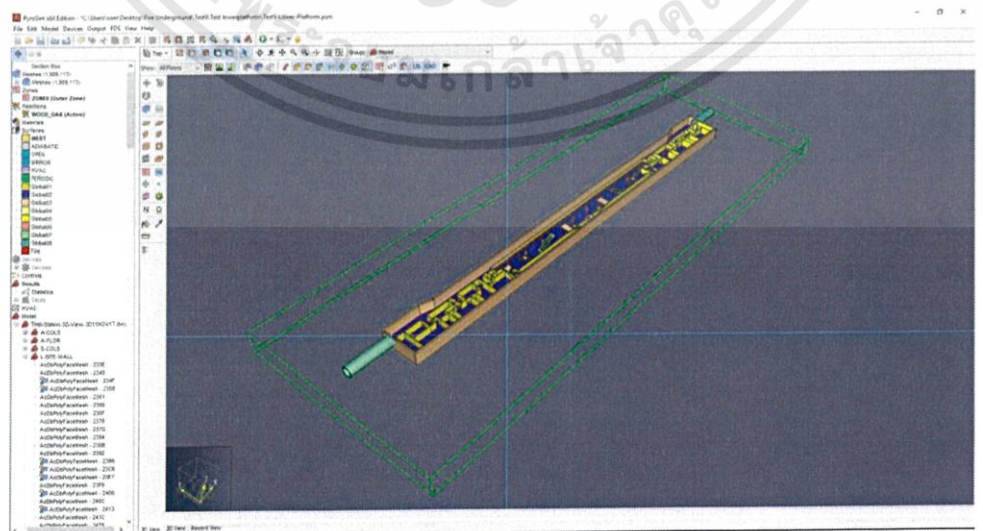
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงชั้น Commercial ภายในโปรแกรม Pyrosim



รูปที่ 3.17 แสดงชั้น Upper Platform ภายในโปรแกรม Pyrosim



รูปที่ 3.18 แสดงชั้น Lower Platform ภายในโปรแกรม Pyrosim

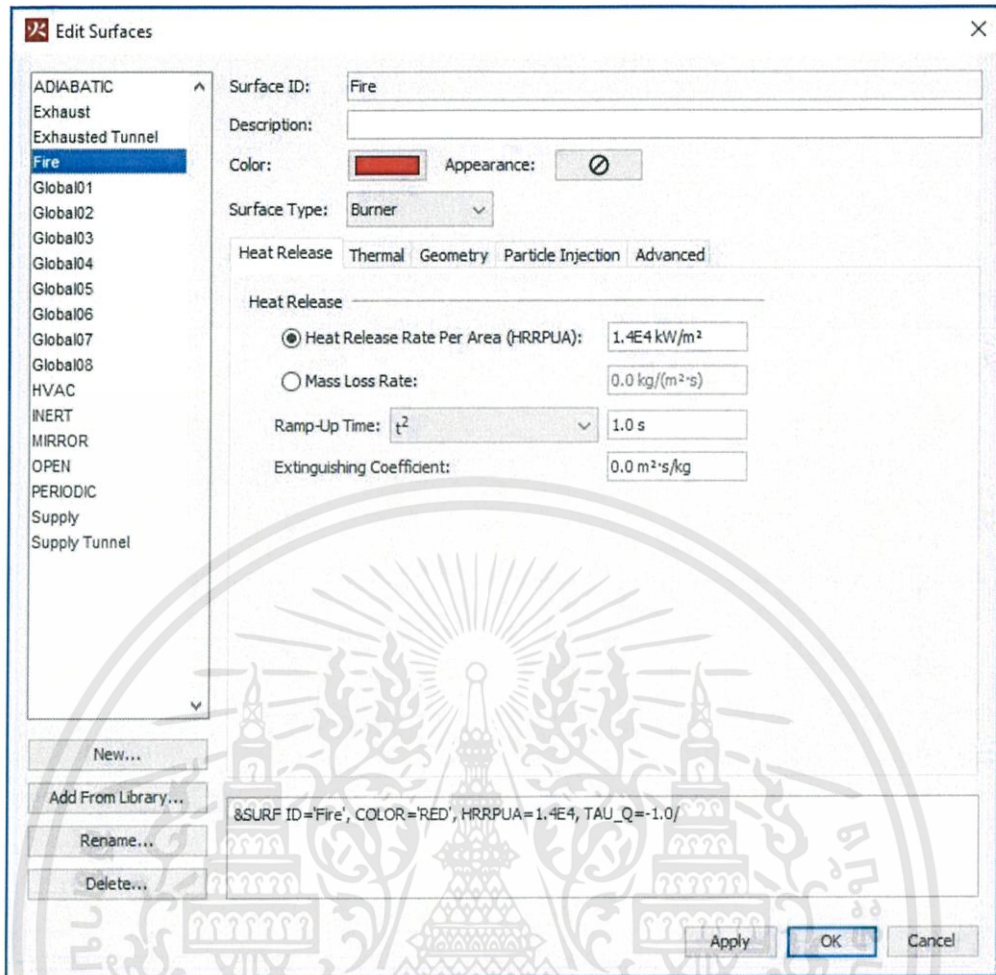
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การกำหนดขนาดของกองเพลิง

สำหรับโครงการวิจัยนี้ใช้เชื้อเพลิงสำหรับเหตุเพลิงไหม้ คือ โพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) ซึ่งนิยมผลิตเป็นแผ่นยางสังเคราะห์ โฟมกันกระแทก พลาสติกแข็งใช้สำหรับทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุประกอบไม้-พลาสติก กาว สารผนึกต่าง ๆ สารเคลือบผิวเครื่องบิน เคลือบโลหะ ไม้ และอิฐ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและสารเคมี เชื้อเพลิงชนิดนี้ติดไฟได้ง่ายและรวดเร็วมาก เมื่อไหม้แล้วจะให้ความร้อนและควันหนาแน่นมาก ที่สำคัญคือให้ก๊าซพิษออกมาด้วยได้แก่ ไดออกซิน ไอโซไซยาไนด์ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น [17] จึงเลือกเชื้อเพลิงชนิดนี้สำหรับเหตุเพลิงไหม้ของทุกระณี ซึ่งโปรแกรมมีการตรวจสอบ (Validation) สำหรับเชื้อเพลิงนี้ไว้ด้วย [18]

กำหนดกองเพลิงให้มีขนาด  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  เมตร<sup>3</sup> มีอัตราการปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate Per Area : HRRPUA) เท่ากับ 7,000 kW โดยสมมติให้ไม่มีการลามไฟ ทั้งบริเวณที่เกิดเหตุเพลิงไหม้กึ่งกลางสถานีและภายในอุโมงค์ ซึ่งมาตรฐาน NFPA 92B Edition 2000 ได้กำหนดขนาดกองเพลิงขั้นต่ำเท่ากับ 2.1 MW สำหรับอาคาร และการระบายอากาศภายในอุโมงค์ถูกออกแบบให้สามารถรองรับขนาดกองเพลิงได้ 7 MW โดยจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในอุโมงค์ไม่เกิน 50 °C [19] ขนาดกองเพลิง 7,000 kW จึงเหมาะสมต่อการทดสอบทุกระณี ดังแสดงในตารางที่ 3.2 กำหนด Ramp Up Time แปรผันตาม  $t^2$  การตั้งค่าภายในโปรแกรม Pyrosim แสดงในรูปที่ 3.20 ตารางที่ 3.2 ขนาดกองเพลิงที่ใช้ในโครงการเอเชีย [20]

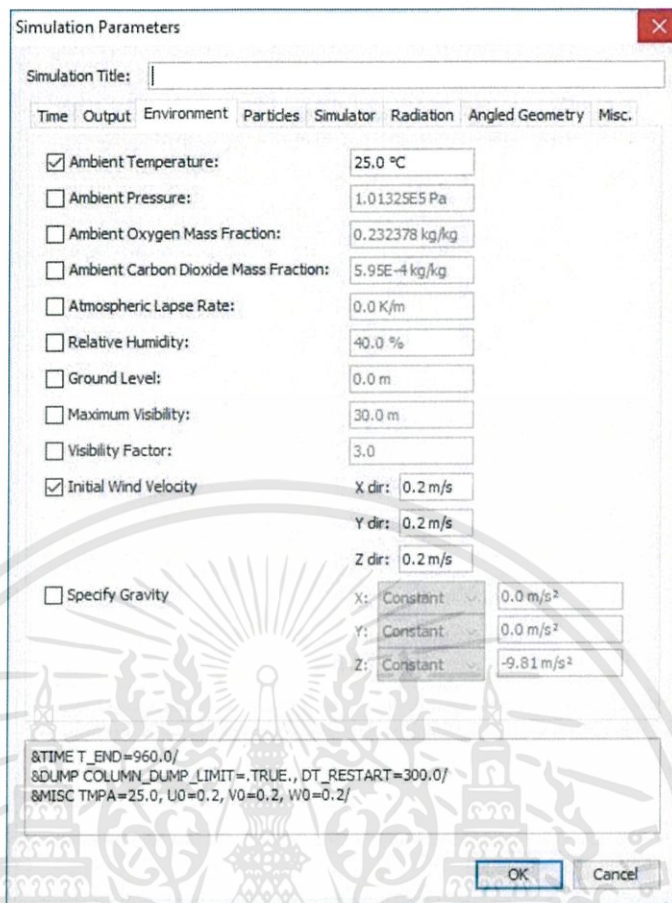
Local Projects in Asia	Fire size (MW)
Airport and Train terminal hall	Up to 7 MW
Shopping mall	5 MW
Atrium	Up to 7 MW
Train compartment	1 MW



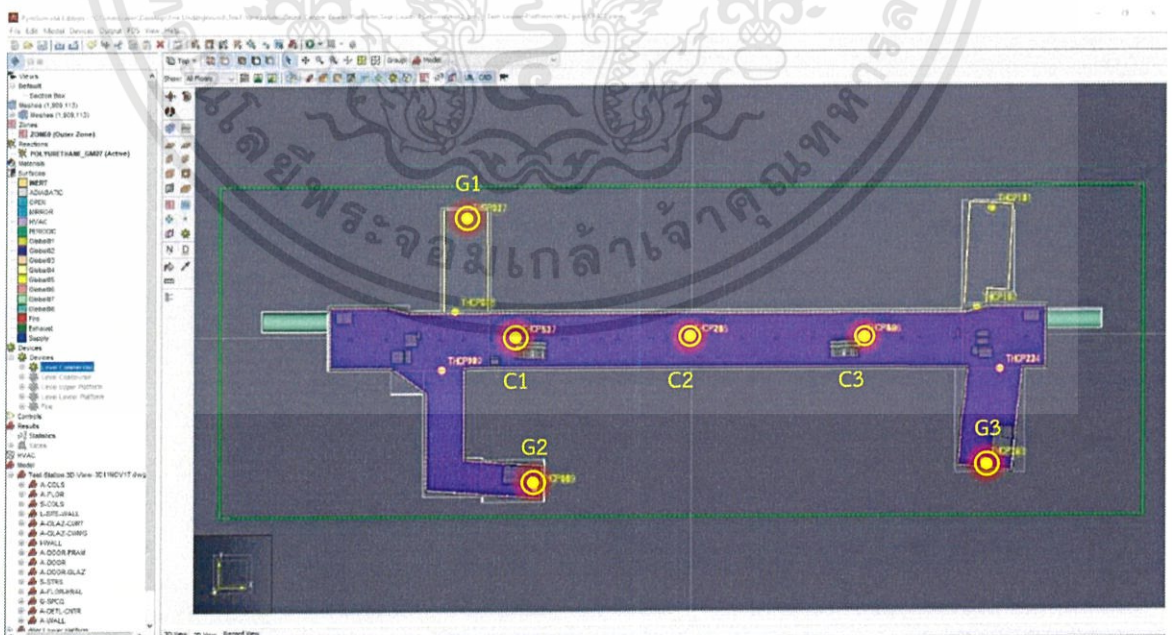
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดกองเพลิง

### 3.2.4 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าต่างๆ

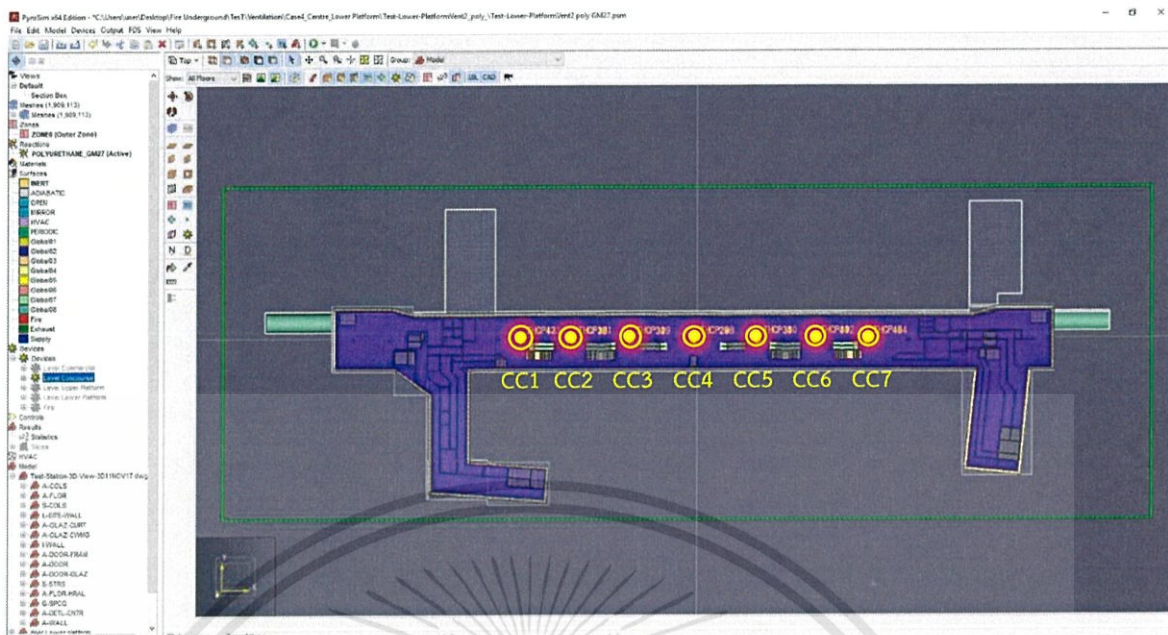
ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิ (กำหนดค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเริ่มต้น 25 °C) ทิศนวิสัยการมองเห็น (กำหนดค่าทิศนวิสัยการมองเห็นสำหรับสภาวะปกติ 30 m) ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตโดยแสดงรายละเอียดอันตรายของก๊าซดังกล่าวไว้ในภาคผนวก ก และความเร็วของอากาศ นอกจากนี้ยังกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการจำลองดังรูปที่ 3.21 โดยกำหนดความสูงของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความสูง 4.7 เมตรจากพื้นสำหรับชั้น Commercial ความสูง 3.53 เมตรจากพื้นสำหรับชั้น Concourse ความสูง 4.1 เมตรจากพื้นสำหรับชั้น Upper Platform ความสูง 4.2 เมตรจากพื้นสำหรับชั้น Lower Platform และอุโมงค์ชั้นดังกล่าว การตรวจวัดค่าต่างๆ ในบริเวณใกล้เพดานนั้นเพื่อต้องการทราบถึงช่วงเวลาที่ทำให้เกิด Ceiling Jet กล่าวคือ เวลาที่ควันเริ่มกระทบเพดานและกระจายทั่วชั้น ทั้งนี้ยังสามารถนำไปพิจารณาหาความเหมาะสมสำหรับการวางระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบควบคุมเพลิงไหม้รวมทั้งการระบายควันและความร้อนได้อีกด้วย ตำแหน่งการจัดวางตัวตรวจวัดค่าต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.21 ถึง 3.24



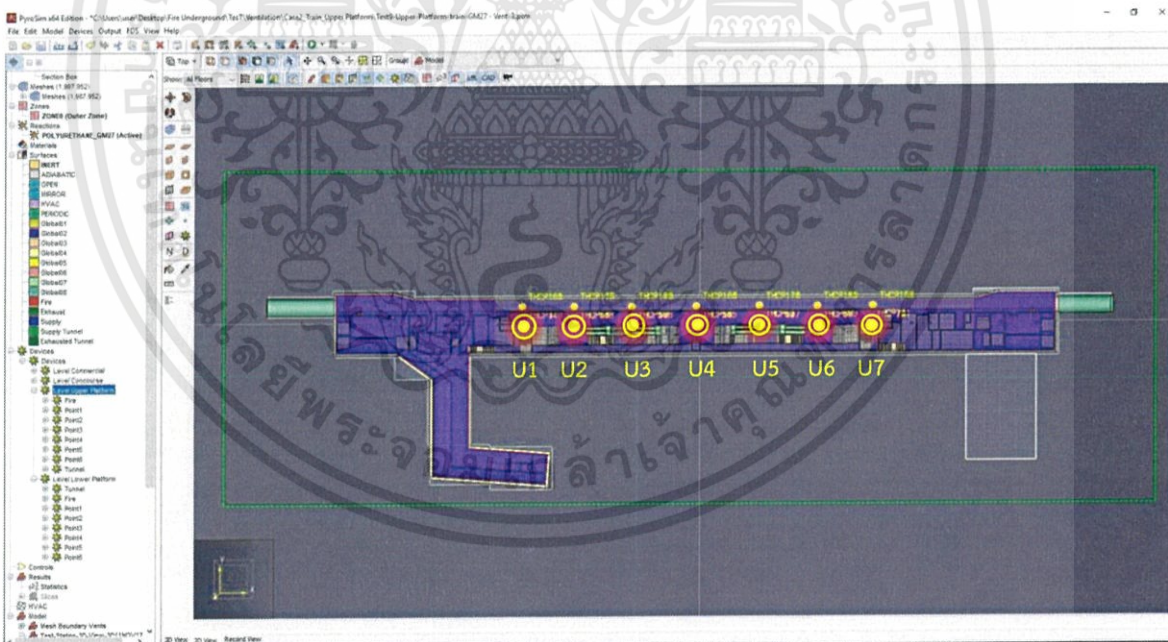
รูปที่ 3.20 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการจำลอง



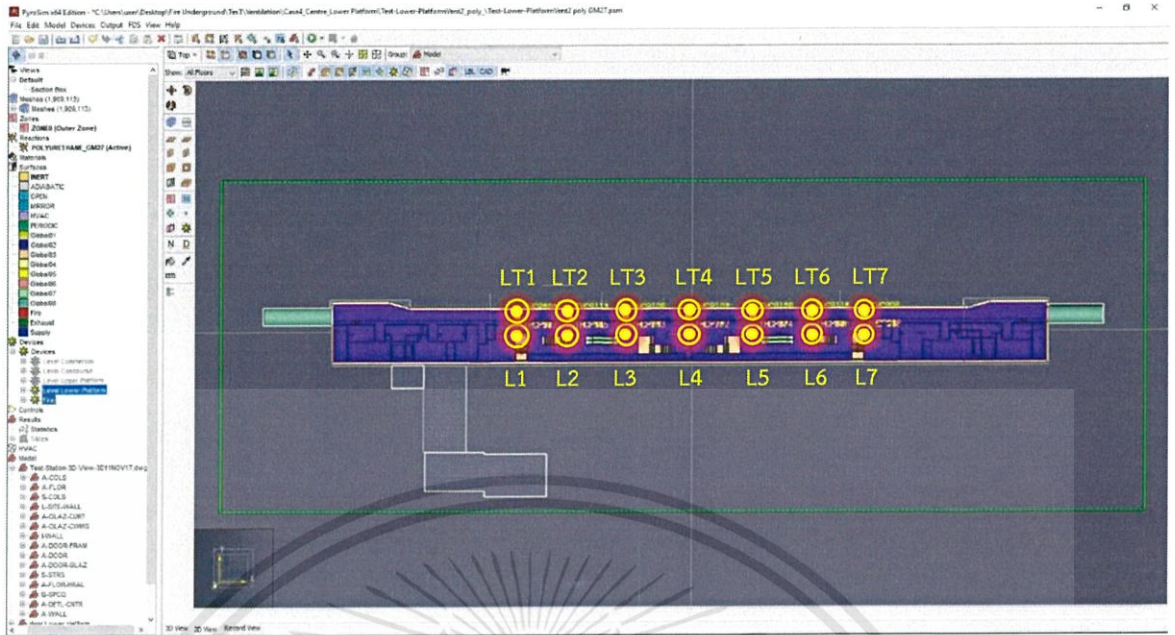
รูปที่ 3.21 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Commercial โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า G1-G3 บริเวณประตูทางเข้าออก 1-3 และตัวตรวจวัดค่า C1-C3 บริเวณทางเดิน



รูปที่ 3.22 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Concourse โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า CC1-CC7 บริเวณทางเดิน



รูปที่ 3.23 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Upper Platform โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า U1-U7 บริเวณทางเดิน



รูปที่ 3.24 การกำหนดตำแหน่งตัวตรวจวัดค่าบริเวณชั้น Lower Platform โดยติดตั้งตัวตรวจวัดค่า L1-L7 บริเวณทางเดิน และตัวตรวจวัดค่า LT1-LT7 บริเวณภายในอุโมงค์รถไฟ

### 3.3 การติดตั้งระบบระบายอากาศ

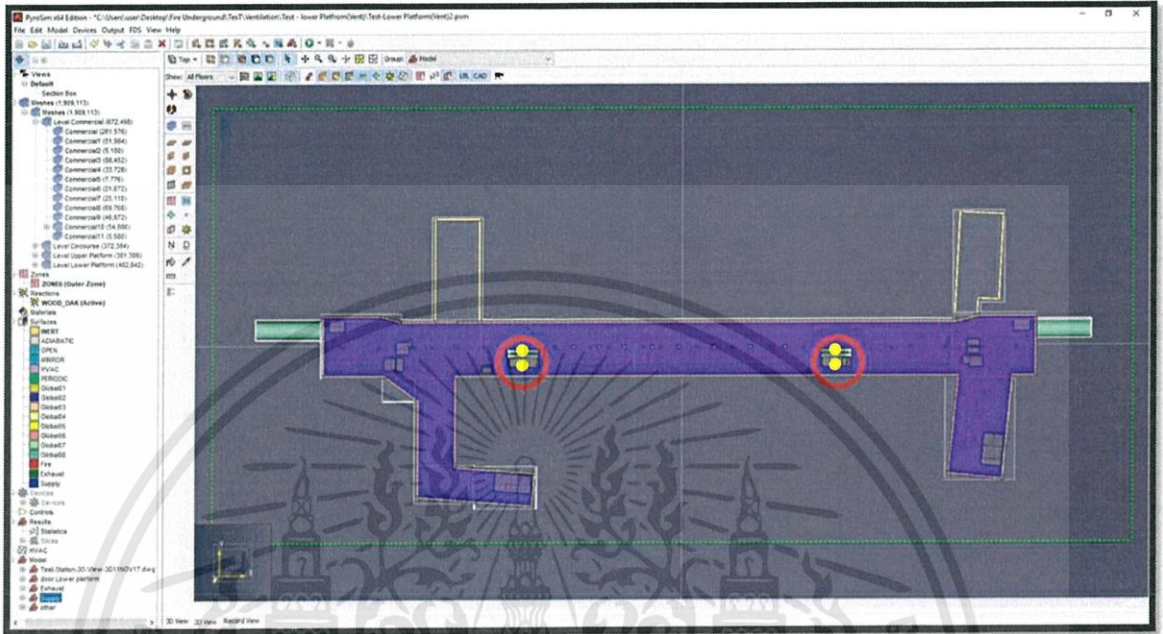
มาตรฐาน NFPA 130 ได้กำหนดมาตรการการป้องกันอัคคีภัย ไว้คือการลดโอกาสที่จะเกิดอัคคีภัย และหากมีอัคคีภัยเกิดขึ้นก็จะอยู่ในวงจำกัด โดยการกำหนดคุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุและรูปแบบของอาคาร เช่น การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ติดไฟง่าย และไม่มีควันเมื่อติดไฟ มีทางหนีไฟที่พอเพียงและไม่ซับซ้อน มีการระบายอากาศและควันไฟออกทางปล่องระบายอากาศ (Ventilation Shaft) ซึ่งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจะมีปล่องดังกล่าวอยู่ทุกสถานี สถานีละ 2 ปล่อง (นอกเหนือจากทางขึ้นลงปกติ) และระหว่างสถานีหากตัวสถานีห่างกันเกิน 1 กิโลเมตร ก็จะมีปล่องระบายอากาศและทางออกฉุกเฉิน (Intervention Shaft) [21]

ระบบควบคุมควันภายในอุโมงค์ (Tunnel Ventilation System) จะทำงานโดยพัดลมในอุโมงค์ (Tunnel Ventilation Fan : TV Fan) และพัดลมใต้ชานชาลา (Under Platform Extraction Fan : UPE Fan) ขนาด 70 และ 30 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งระบบดังกล่าวจะทำงานในกรณีเกิดเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ ควันรถไฟอยู่ภายในอุโมงค์ก็กึ่งกลางระหว่างสถานี หรือกรณีเกิดเพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ขณะรถไฟจอดอยู่ที่สถานี ทั้งนี้ระบบควบคุมควันไฟจะควบคุมทิศทางของควันไฟไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการอพยพหนีภัยของผู้โดยสาร [21]

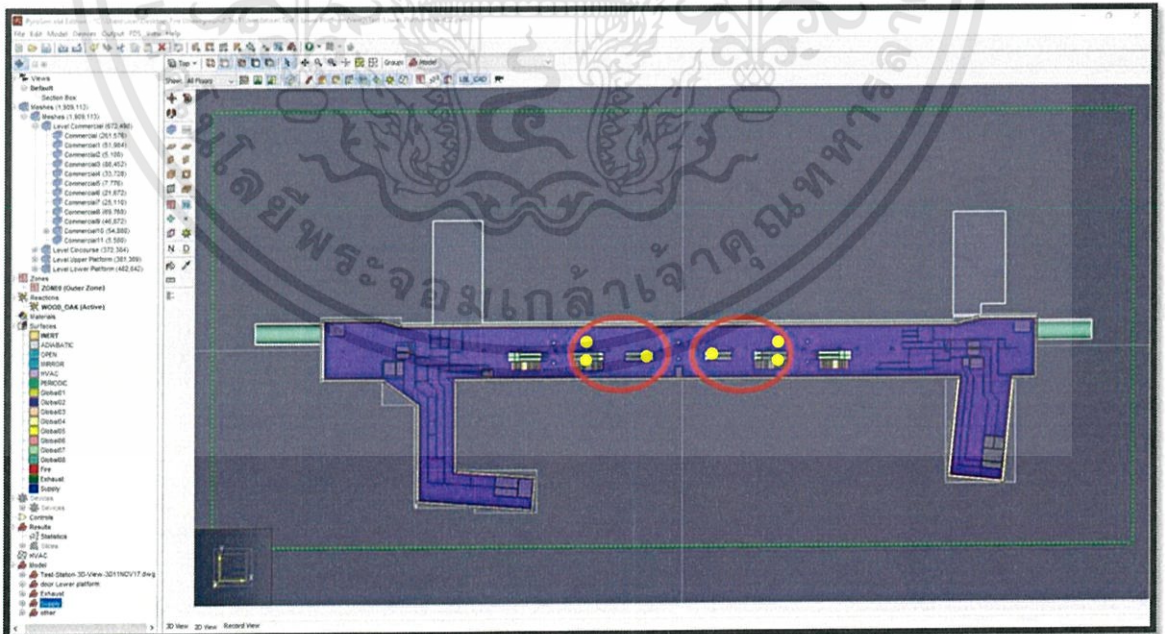
ระบบควบคุมควันภายในสถานี (Smoke Control System) ในสถานีโดยจะทำการควบคุมพัดลมควบคุมควันไฟจากจุดที่ปลอดภัยในสถานี หรือจากศูนย์ควบคุมระบบรถไฟฟ้า (Operation Control Center) จึงพิจารณาการติดตั้งระบบระบายอากาศได้ดังนี้ [21]

### 3.3.1 การวางตำแหน่งของระบบระบายอากาศ (Ventilation System)

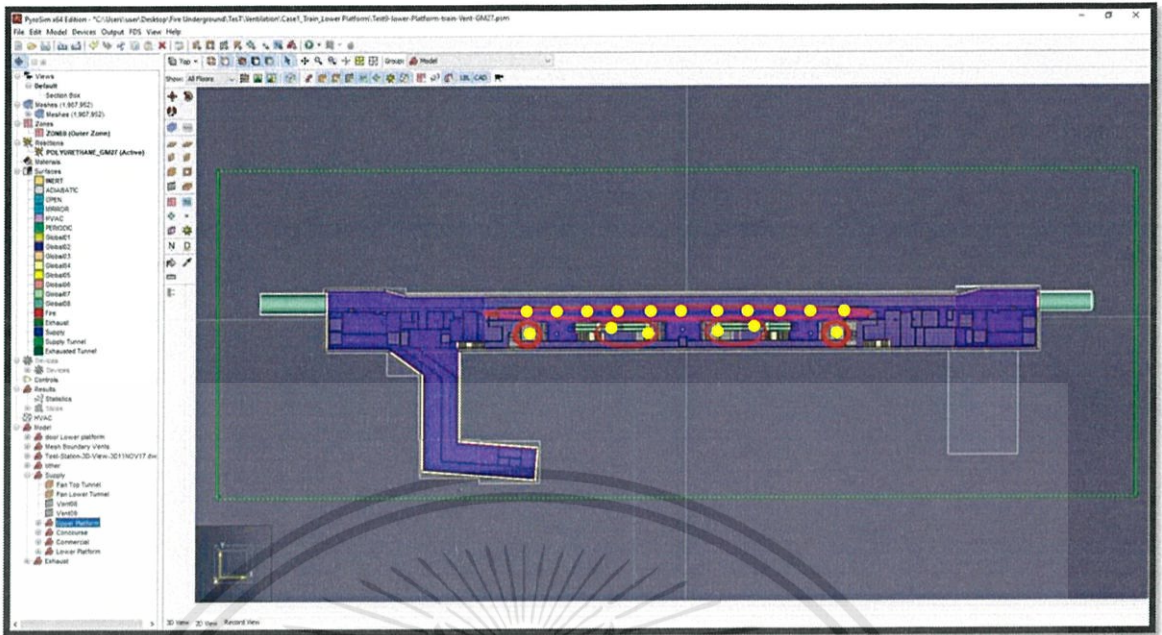
การวางตำแหน่ง Air Supply Fan สำหรับทุกชั้น แสดงในรูปที่ 3.25 ถึง 3.28 และตำแหน่ง Supply Tunnel Fan สำหรับอุโมงค์ กำหนดตำแหน่งไว้ที่ปลายอุโมงค์ด้านซ้าย แสดงในรูปที่ 3.28



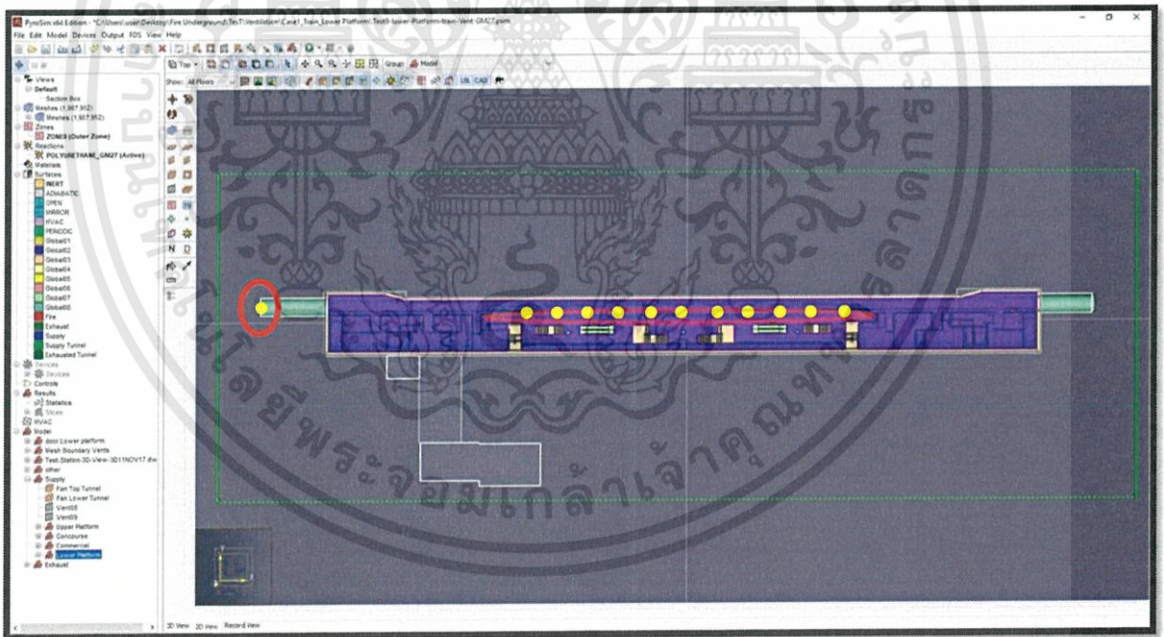
รูปที่ 3.25 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Commercial



รูปที่ 3.26 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Concourse

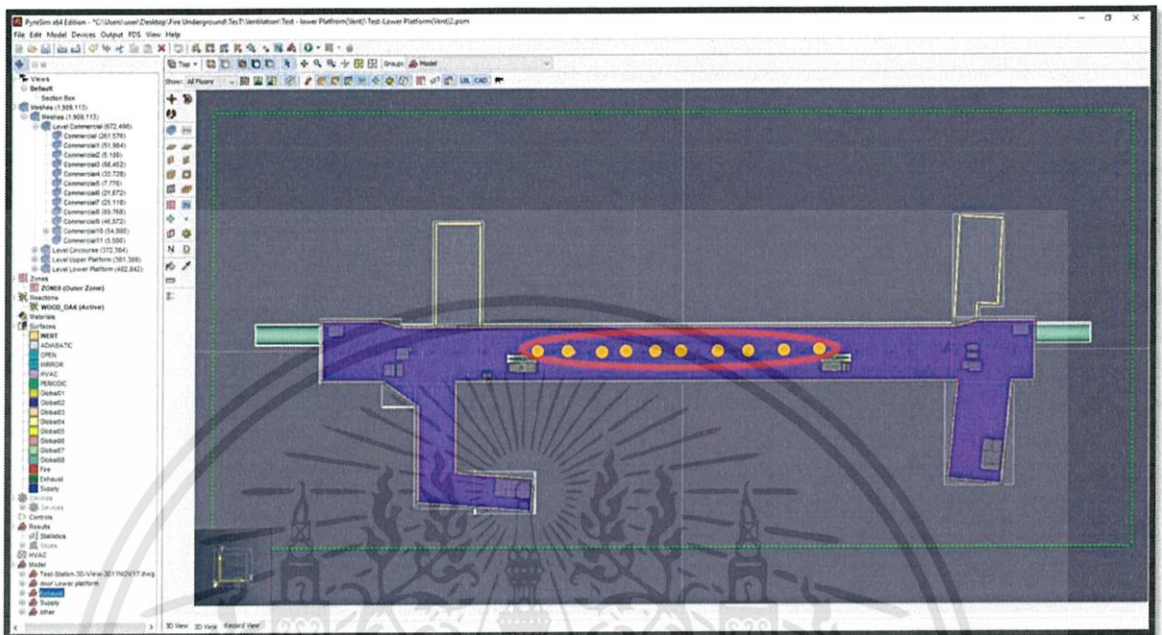


รูปที่ 3.27 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Upper Platform



รูปที่ 3.28 การวางตำแหน่งของ Air Supply Fan ชั้น Lower Platform และตำแหน่ง Supply Tunnel Fan สำหรับอุโมงค์

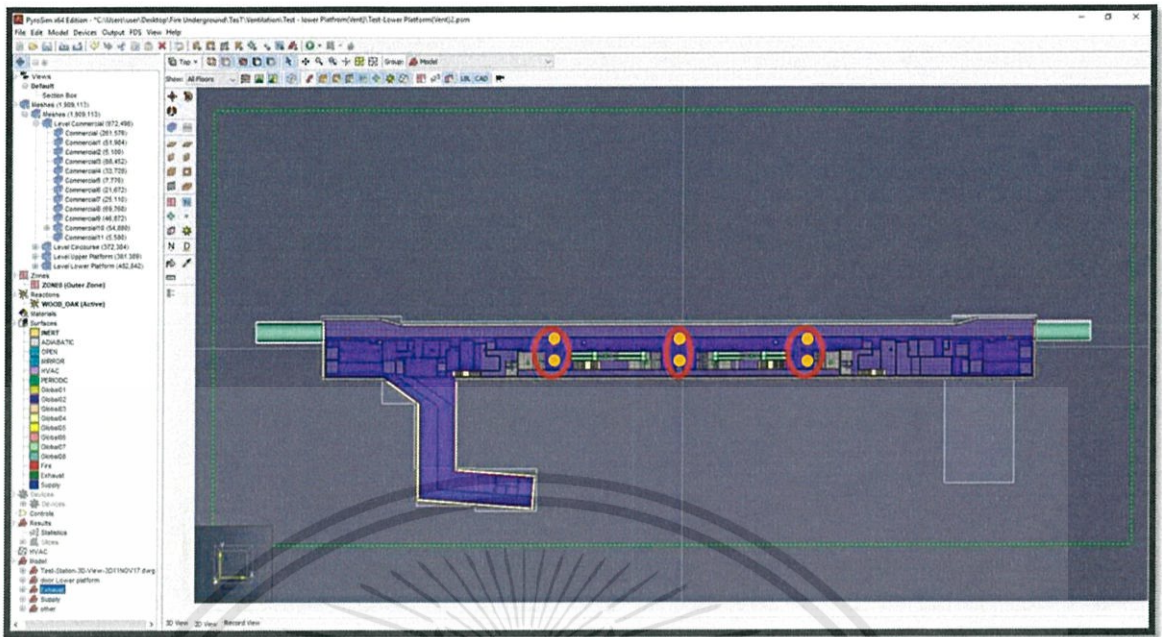
การวางตำแหน่ง Exhaust Extract Fan สำหรับทุกชั้น แสดงในรูปที่ 3.29 ถึง 3.32 ซึ่งในความเป็นจริงพัดลมแต่ละตัวสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งจ่ายอากาศและดูดอากาศ แต่สำหรับโครงการวิจัยนี้จะแยกหน้าที่ของพัดลมแต่ละตัวให้ขาดออกจากกันเพื่อให้ง่ายต่อการจำลอง



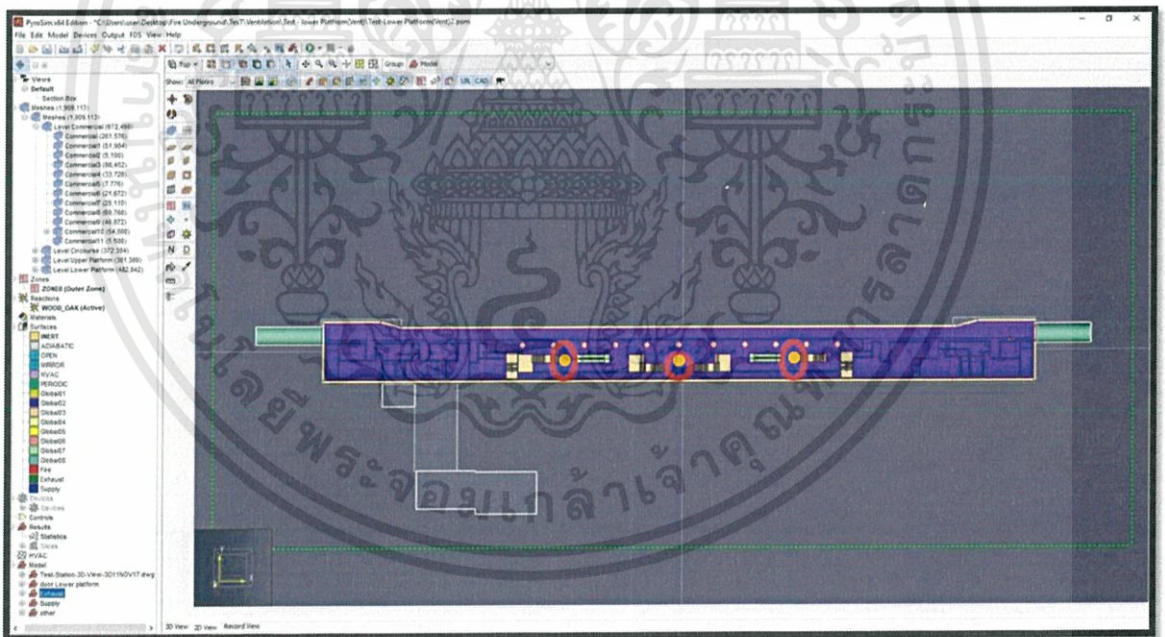
รูปที่ 3.29 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Commercial



รูปที่ 3.30 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Concourse



รูปที่ 3.31 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Upper Platform
















รูปที่ 3.32 การวางตำแหน่งของ Exhaust Extract Fan ชั้น Lower Platform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

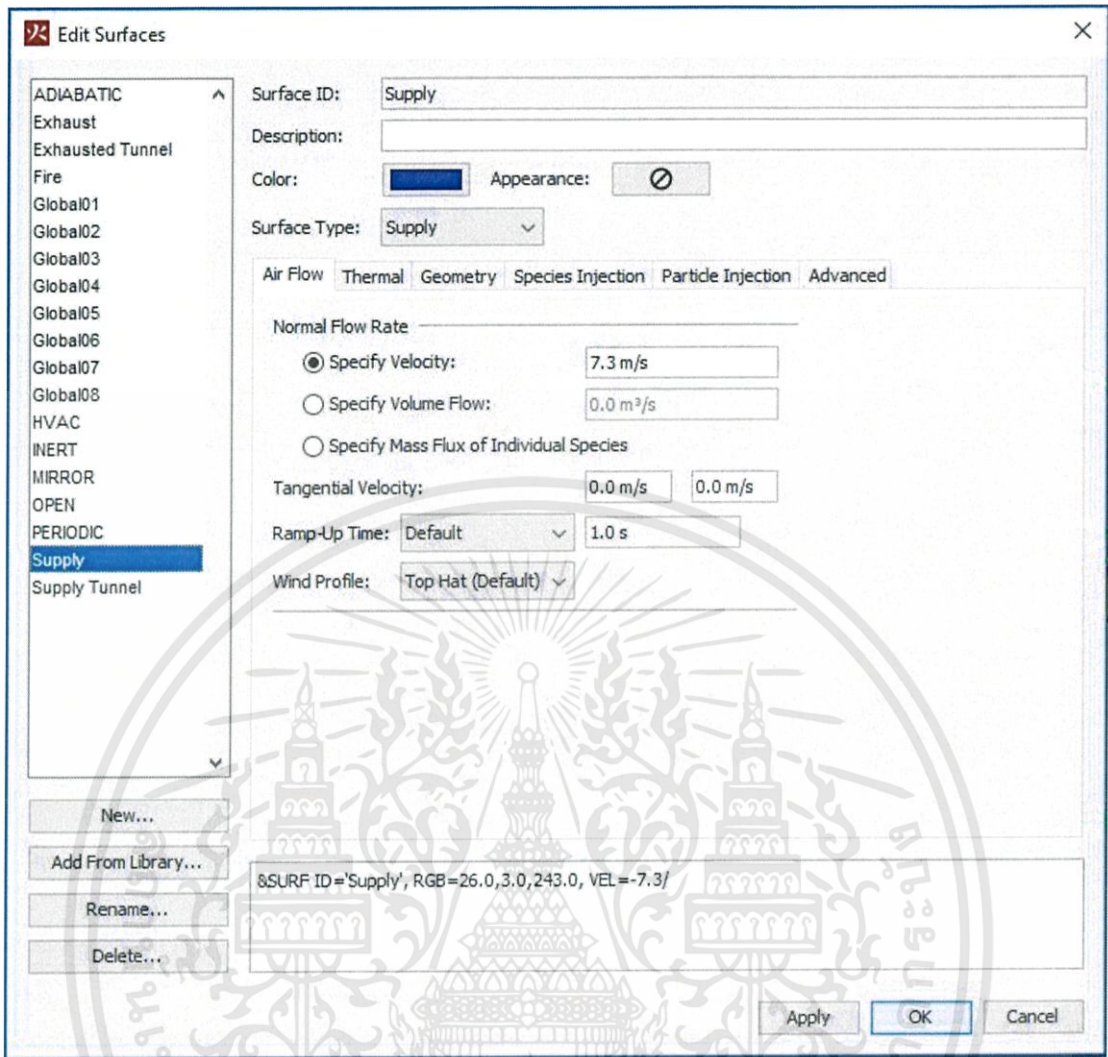
### 3.3.2 การกำหนดขนาดของ Air Supply Fan และ Exhaust Extract Fan

ขนาดของพัดลมระบายอากาศในอาคารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินที่เลือกใช้สำหรับโครงการวิจัยนี้ พิจารณาจาก Specification ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และมาตรฐานแสดงในรูปแบบที่ 3.33 ซึ่งบอกถึงความเร็วลมที่เป็นอันตรายต่อคนได้ จึงกำหนดให้พัดลมมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร<sup>3</sup> ความเร็วลมเท่ากับ 7.3 m/s หรือ 16.33 mph (Mile/Hour) แสดงในรูปแบบที่ 3.34 และ 3.35 โดยความเร็วดังกล่าวอยู่ในระดับ 4 ของมาตรฐานโบฟอร์ต เป็นลมที่มีความเร็วระดับปานกลาง สามารถทำให้ฝุ่น ใบไม้ กระดาษ รวมทั้งกิ่งไม้ขนาดเล็กปลิวได้อย่างอิสระ

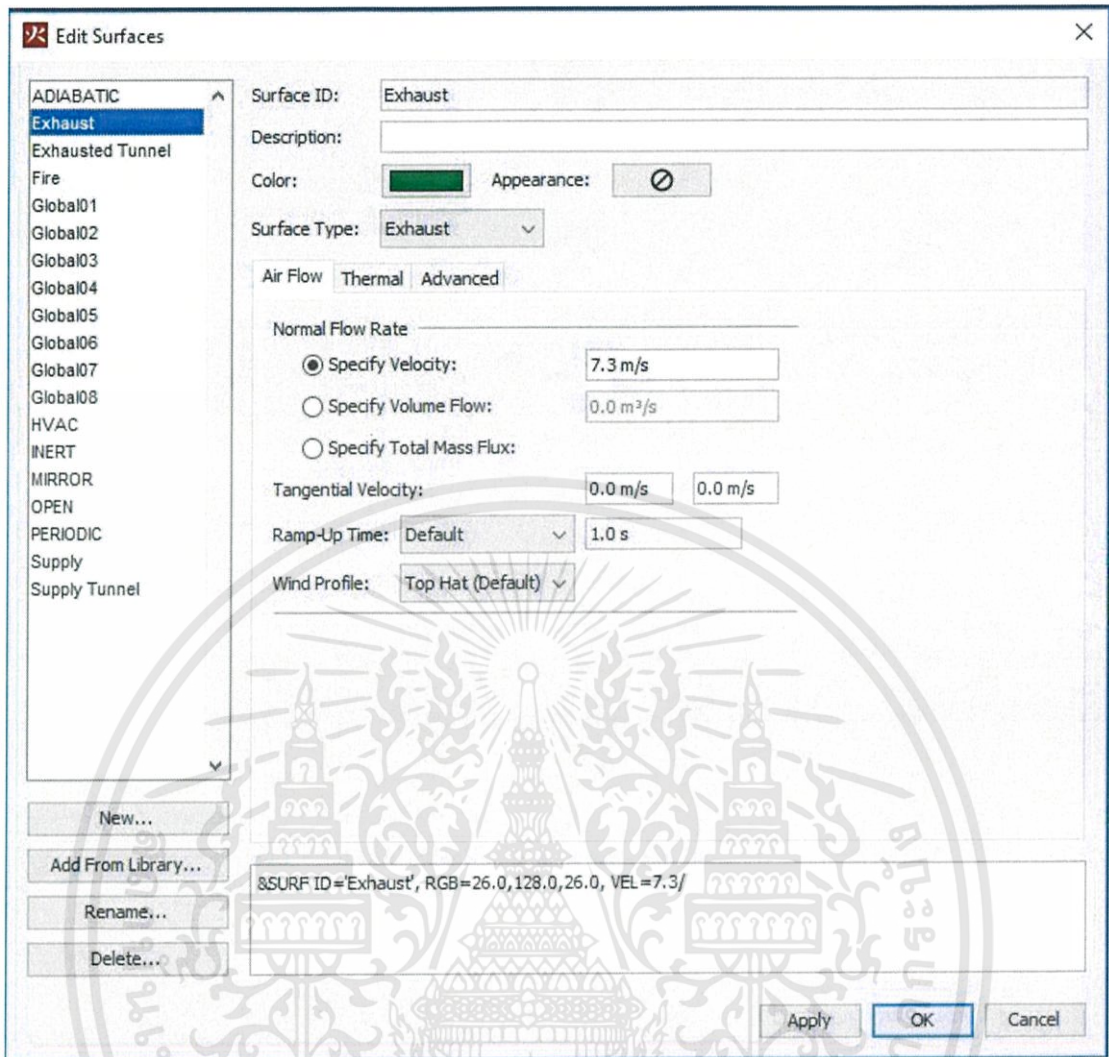
## Beaufort Scale

Beaufort number	Wind Speed (mph)	Seaman's term		Effects on Land
0	Under 1	Calm		Calm; smoke rises vertically.
1	1-3	Light Air		Smoke drift indicates wind direction; vanes do not move.
2	4-7	Light Breeze		Wind felt on face; leaves rustle; vanes begin to move.
3	8-12	Gentle Breeze		Leaves, small twigs in constant motion; light flags extended.
4	13-18	Moderate Breeze		Dust, leaves and loose paper raised up; small branches move.
5	19-24	Fresh Breeze		Small trees begin to sway.
6	25-31	Strong Breeze		Large branches of trees in motion; whistling heard in wires.
7	32-38	Moderate Gale		Whole trees in motion; resistance felt in walking against the wind.
8	39-46	Fresh Gale		Twigs and small branches broken off trees.
9	47-54	Strong Gale		Slight structural damage occurs; slate blown from roofs.
10	55-63	Whole Gale		Seldom experienced on land; trees broken; structural damage occurs.
11	64-72	Storm		Very rarely experienced on land; usually with widespread damage.
12	73 or higher	Hurricane Force		Violence and destruction.

รูปที่ 3.33 มาตรฐานโบฟอร์ต (Beaufort Scale) [22]



รูปที่ 3.34 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Air Supply Fan

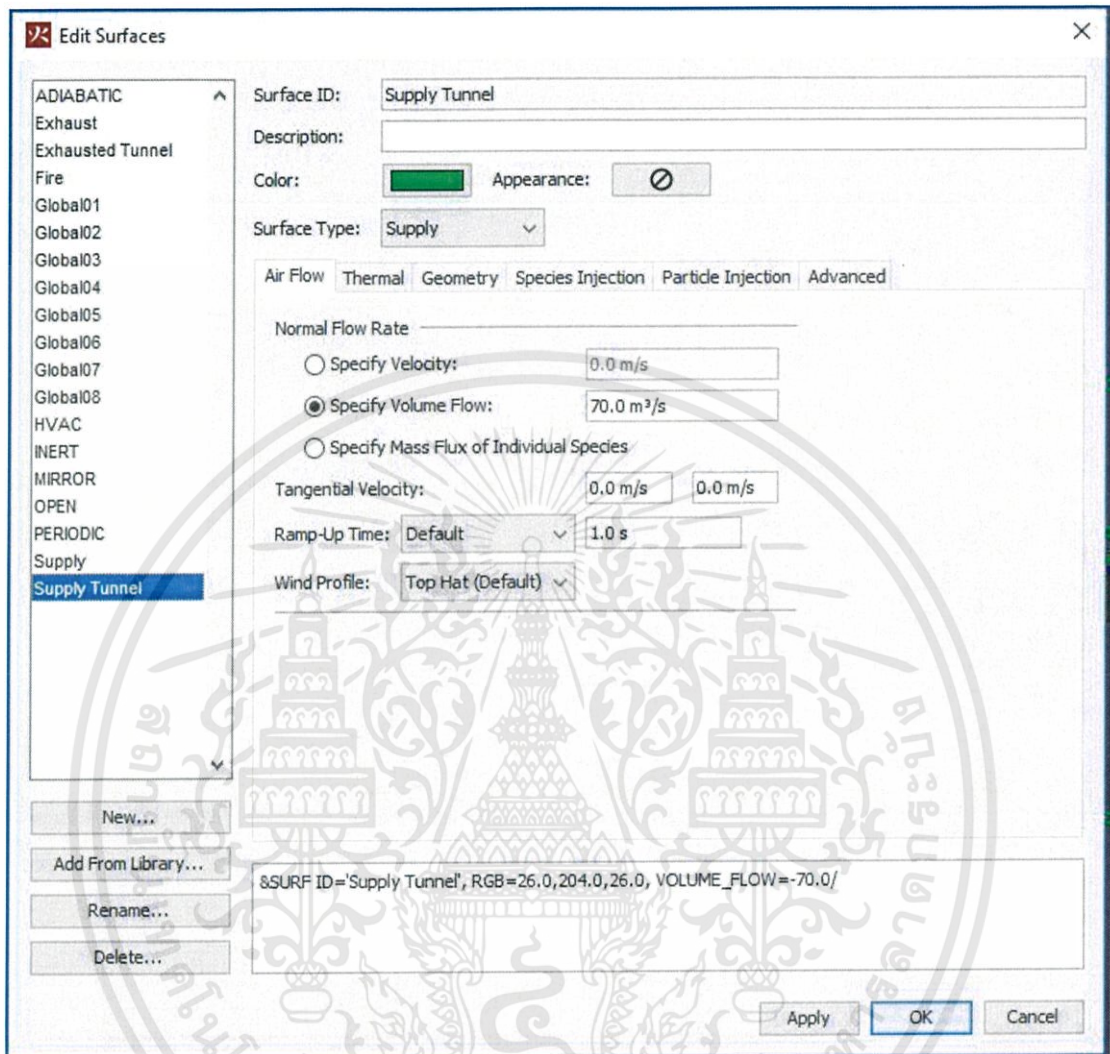


รูปที่ 3.35 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Exhaust Extract Fan

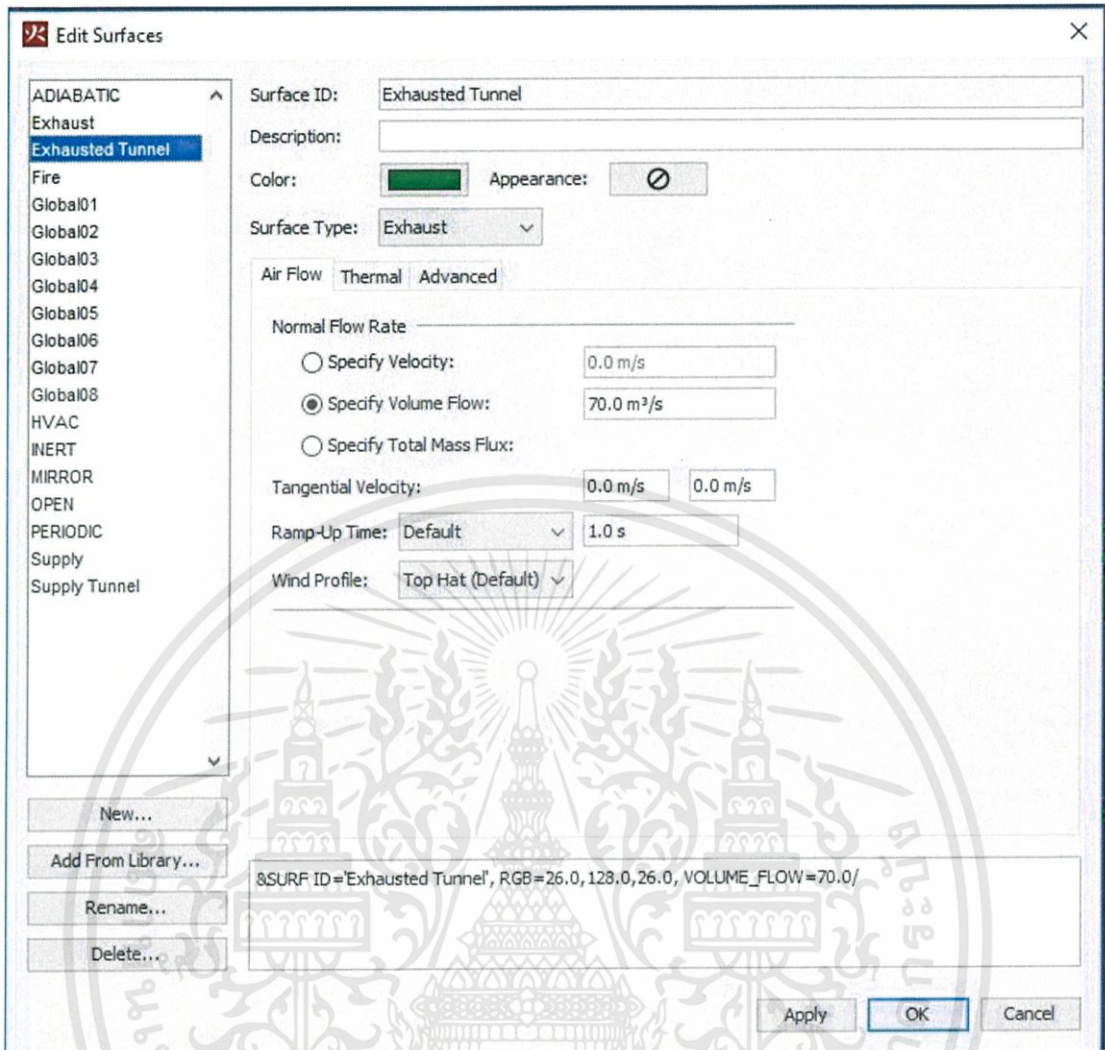
### 3.3.3 การกำหนดขนาดของ Supply Tunnel Fan และ Exhaust Tunnel Fan

เนื่องจาก Tunnel Ventilation System จะต้องถูกใช้งานเป็นพัดลมดูดควันในกรณีเกิดเพลิงไหม้ ดังนั้นพัดลม มอเตอร์ สายไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องสามารถทนอุณหภูมิได้ที่ 250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยไม่เกิดความเสียหาย ทั้งด้านกายภาพหรือทางไฟฟ้า ในการคำนวณหาขนาดพัดลม ปัจจัยหลักในการกำหนดว่าพัดลมจะมีขนาดเท่าใด ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดอุโมงค์ ระยะห่างของสถานี ชนิดรถที่ใช้ ขนาดบรรทุก ความเร็วรถ อัตราเร่ง อัตราการหยุดรถ อุณหภูมิ ความชื้นของบรรยากาศ อัตราการถ่ายเทความร้อนจากพื้นดิน ความถี่รถที่เข้า-ออกสถานี จากปัจจัยดังกล่าวจึงนำไปคำนวณหาขนาดของพัดลมตามที่กำหนดในมาตรฐาน และทำการตรวจสอบโดยใช้โปรแกรม Simulation โดยในโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินนี้ใช้ Tunnel Ventilation Fan กำหนดขนาดที่ 70.0 m<sup>3</sup>/s และ Under Platform Exhaust Fan กำหนดขนาดที่ 40.0 m<sup>3</sup>/s [19] สำหรับโครงการวิจัยนี้ สมมุติให้เกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน การระบายและควบคุมควันทำงานใน Emergency Mode แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข จึงกำหนด Supply Tunnel Fan เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Exhaust Tunnel Fan ให้มีขนาด  $1.0 \times 3.3 \times 4.0$  เมตร<sup>3</sup> ความเร็วลมเท่ากับ  $70.0 \text{ m}^3/\text{s}$  โดยแสดงในรูปที่ 3.36 และ 3.37



รูปที่ 3.36 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Supply Tunnel Fan



รูปที่ 3.37 แสดงหน้าต่างคำสั่งในโปรแกรม Pyrosim ในการกำหนดขนาดของ Exhaust Tunnel Fan

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

หลังจากทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Pyrosim ในเวลา 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ได้ผลจากการทดลองโดยสรุปเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ ดังนี้

1. พฤติกรรมการไหลของควันไฟ
2. ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
3. ผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
4. ผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
5. อัตราการปลดปล่อยพลังงาน

#### 4.1 พฤติกรรมการไหลของควันไฟ

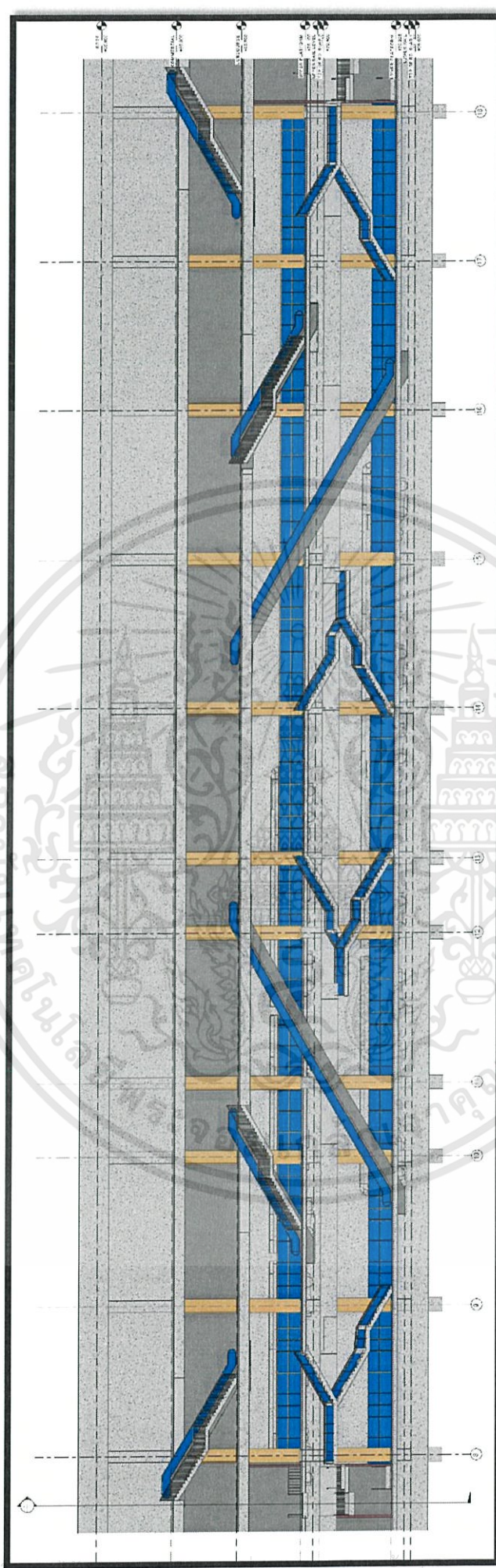
##### 4.5.4 กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

ตำแหน่งของบันได บันไดเลื่อนและช่องเปิดต่างๆ ภายในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 แสดงการไหลของควัน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่กึ่งกลางชั้น Lower Platform ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform รูปที่ 4.2 แสดงกรณีที่ 1 มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่าที่เวลา (ก) 0 วินาที ควันไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันลอยผ่านช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform ไปจนถึงเพดานชั้นดังกล่าว และแพร่ขยายไปตามชั้น Upper Platform แต่ควันที่ลอยผ่านช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse ควันสามารถลอยผ่านได้เฉพาะชั้น Upper Platform เท่านั้น เนื่องจากบริเวณปลายบันไดเลื่อนที่ติดกับชั้น Concourse การทำงานของ Air Supply Fan สามารถกักควันไม่ให้ผ่านไปได้ ควันจึงลอยผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse จากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที ควันบริเวณชั้น Lower Platform มีการแพร่ไปตามชั้นจนถึงช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform ส่วนควันบริเวณชั้น Upper Platform มีการแพร่ไปตามชั้นและเคลื่อนผ่านบริเวณช่องเปิดที่เชื่อมกับชั้น Concourse เนื่องจากการทำงานของ Air Supply Fan ที่พยายามอัดอากาศดีลงไปกั้นไม่ให้ควันลอยขึ้นมา ขณะที่ควันบริเวณชั้น Concourse ลอยจนถึงเพดานชั้นดังกล่าว ที่เวลา (ง) 180 วินาที ควันบริเวณชั้น Lower Platform และ Upper Platform มีการแพร่ไปตามชั้นจนเกือบเต็มพื้นที่ ส่วนควันบริเวณชั้น Concourse มีการเคลื่อนที่ไปตามเพดานเพิ่มมากขึ้น ที่เวลา (จ) 240 วินาที ถึง (ฉ) 300 วินาที บริเวณชั้น Lower Platform และ Upper Platform มี

การแพร่ของควันจนเต็มพื้นที่ ส่วนควันบริเวณชั้น Concourse มีการเคลื่อนที่ไปตามชั้นจนถึงช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial แต่ด้วยการทำงานของ Air Supply Fan ที่อัดอากาศดี และ Exhaust Extract Fan ที่ดูดควันไว้ ควันจึงยังไม่เคลื่อนที่ไปยังชั้น Commercial ที่เวลา (ข) 360 วินาที ควันบริเวณชั้น Concourse เคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดที่เชื่อมกับชั้น Commercial แล้ว แต่ยังไม่สามารถผ่านไปยังชั้นด้านบนได้ ที่เวลา (ข) 420 วินาที ควันเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดไปยังชั้น Commercial และเคลื่อนที่สู่เพดานของชั้นดังกล่าว

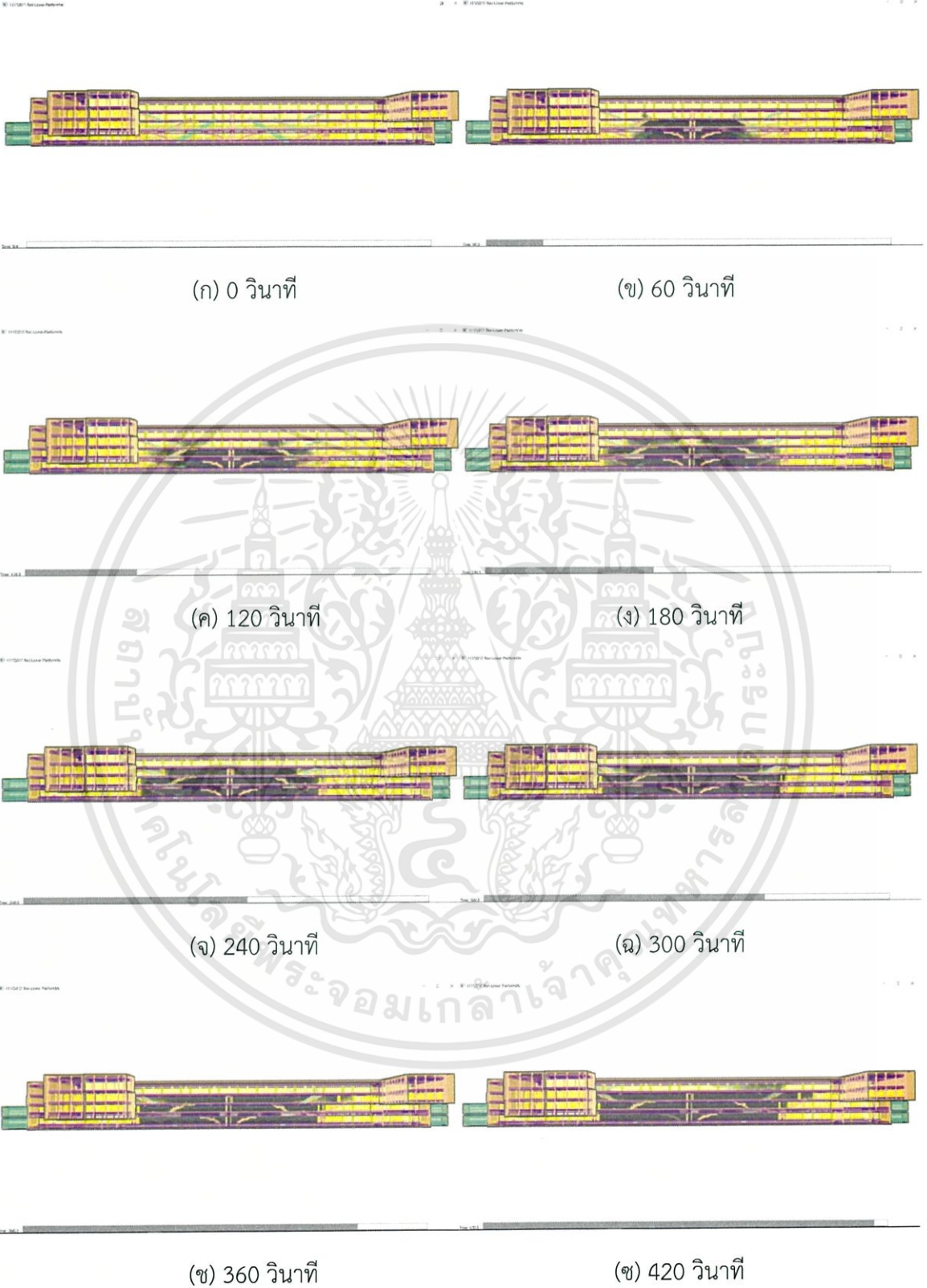
รูปที่ 4.3 แสดงกรณีที่ 2 ไม่มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่าที่เวลา (ก) 0 วินาที ไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันลอยผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนทุกช่องที่มี ควันผ่านช่องเปิดที่เชื่อมกับชั้น Concourse และแพร่ไปตามเพดานชั้นดังกล่าว จากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที บริเวณชั้น Lower Platform และ Upper Platform มีการแพร่ของควันจนเต็มพื้นที่ ส่วนชั้น Concourse มีการแพร่ของควันไปตามชั้นและเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดจนถึงชั้น Commercial ที่เวลา (ง) 180 วินาที และ (จ) 240 วินาที ควันบริเวณชั้น Concourse เคลื่อนที่ไปตามชั้นมากขึ้น และควันบริเวณชั้น Commercial เคลื่อนที่จนถึงเพดานชั้นดังกล่าว ที่เวลา (ฉ) 300 วินาที ควันบริเวณชั้น Concourse เคลื่อนที่ไปตามชั้นมากขึ้น และควันบริเวณชั้น Commercial เคลื่อนที่ไปตามชั้นจนถึงบริเวณจุดแยกที่นำไปสู่ทางเข้าออกทั้ง 3 ทาง ที่เวลา (ช) 360 วินาที บริเวณชั้น Concourse มีการแพร่ของควันจนเกือบเต็มพื้นที่ และบริเวณชั้น Commercial ควันเคลื่อนที่ถึงบริเวณทางเข้าออกที่ 1 (ตำแหน่ง G1) ส่วนทางเข้าออก อื่น ๆ มีระยะทางเดินที่ยาวกว่า ควันจึงเคลื่อนที่มาได้เพียงครึ่งหนึ่งของระยะทางเท่านั้น ที่เวลา (ช) 420 วินาที บริเวณชั้น Concourse มีการแพร่ของควันจนเต็มพื้นที่ ควันเคลื่อนที่มาตามช่องทางเดินเข้าออก 2 และ 3 ได้ไกลขึ้น

สำหรับรูปที่ 4.4 แสดงการไหลของควัน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่กึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 1 มีระบบระบายอากาศ มุมมองด้านบน (Top View) เพื่อดูการแพร่กระจายของควันบริเวณชั้น Commercial เมื่อเวลาผ่านไป (ก) 240 วินาที (ข) 300 วินาที (ค) 360 วินาที และ (ง) 420 วินาที

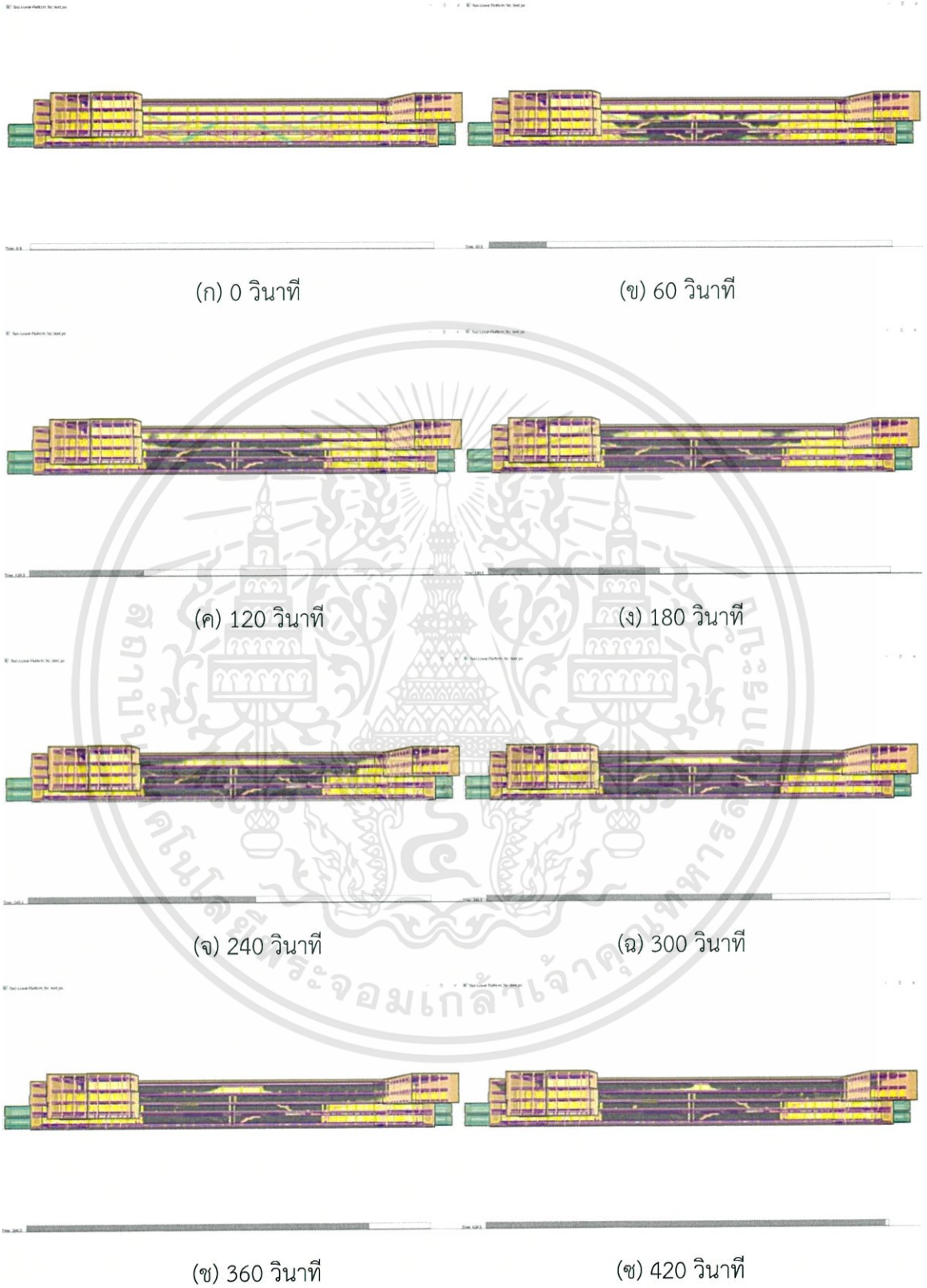


รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของช่องเปิดบันไดและบันไดเลื่อนภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

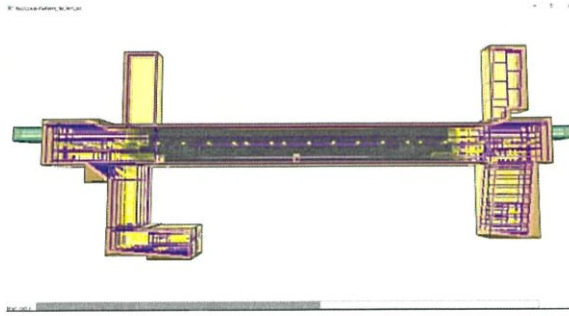
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



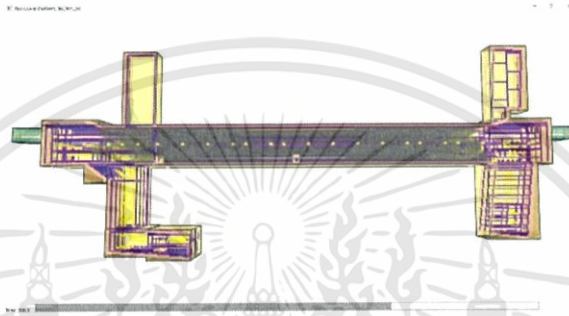
รูปที่ 4.2 แสดงการไหลของควันทันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 1



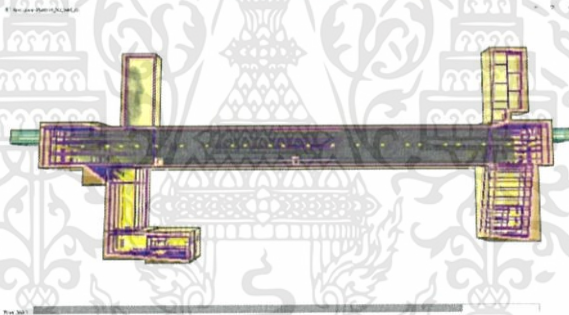
รูปที่ 4.3 แสดงการไหลของควันทันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 2



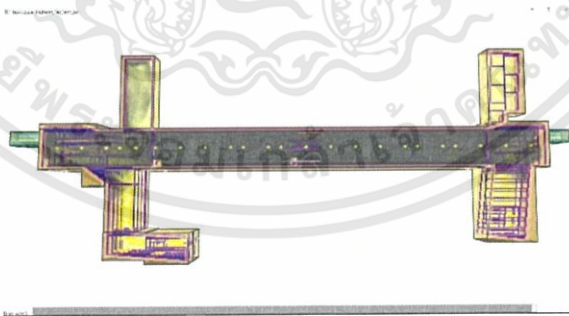
(ก) 240 วินาที



(ข) 300 วินาที



(ค) 360 วินาที



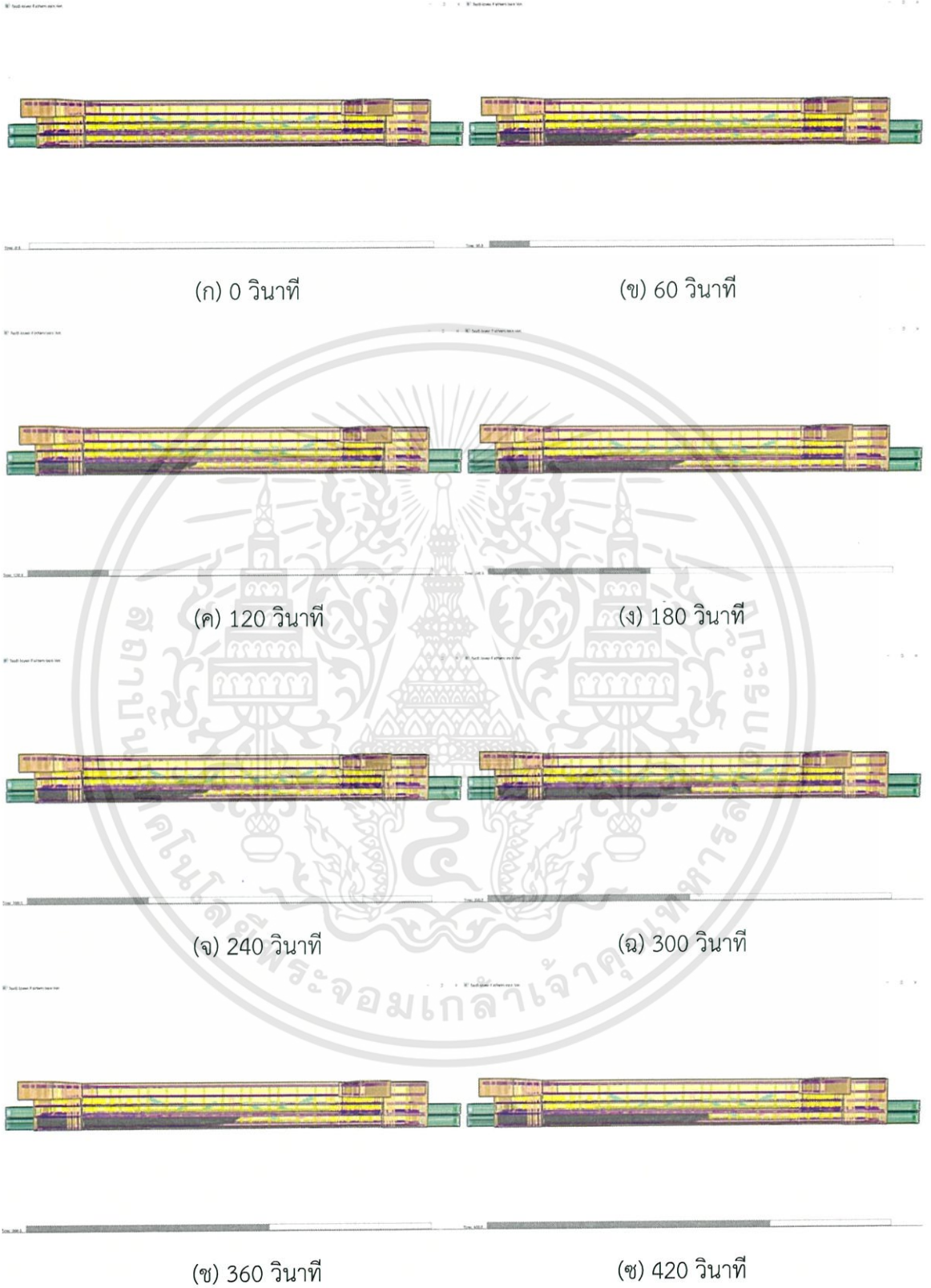
(ง) 420 วินาที

รูปที่ 4.4 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform กรณีที่ 1 มุมมองด้านบน (Top View)

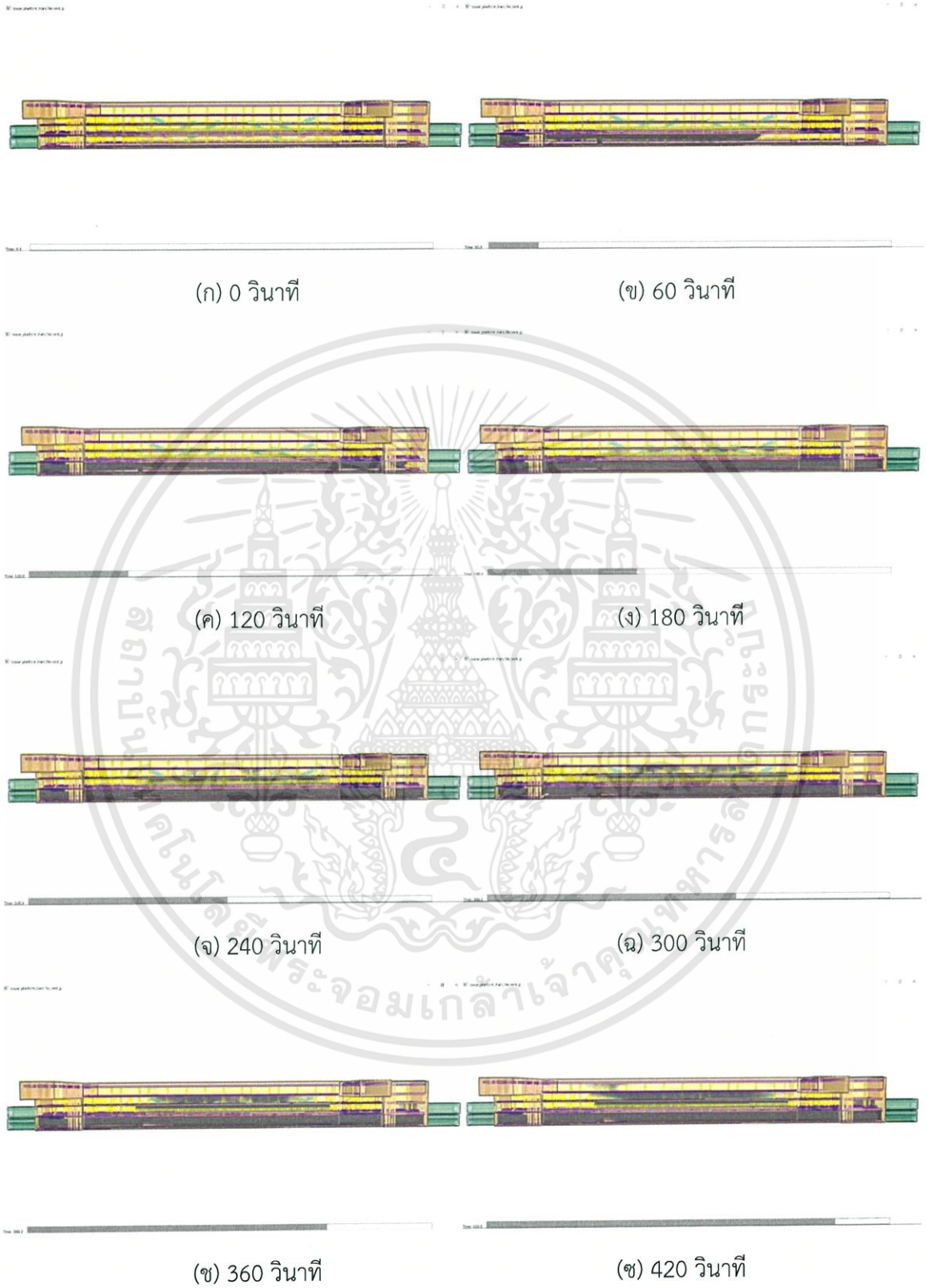
#### 4.5.5 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงการไหลของควัน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform ตำแหน่งของกองเพลิงอยู่บริเวณตัววัดค่า LT 7 ซึ่งในรูปที่ 4.5 และ 4.6 คือบริเวณชายมือ Supply Tunnel Fan ถูกติดตั้งที่ด้านขวามือของรูปดังกล่าว ประตูกั้นชานชาลา (Platform Screen Door) ทุกบานถูกเปิดทิ้งไว้ รูปที่ 4.5 แสดงกรณีที่ 3 มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่าที่เวลา (ก) 0 วินาที ไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันลอยขึ้นสู่ด้านบนของอุโมงค์ ผลของ Supply Tunnel Fan ดันให้ควันเคลื่อนไปที่ปลายอุโมงค์ที่อยู่ด้านตรงข้าม ควันบางส่วนเคลื่อนที่เข้ามาในสถานี ชั้น Lower Platform ได้น้อยมาก เพราะถูก Air Supply Fan ทำหน้าที่อัดอากาศตักเก็บเอาไว้ ส่วนควันที่ถูกกักเอาไว้ไม่อยู่ Exhaust Extract Fan จะทำหน้าที่ดูดเอาไว้ ส่วนจากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที ควันที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนของอุโมงค์ เคลื่อนที่ไปตามเพดานของอุโมงค์ด้านแรงของ Supply Tunnel Fan ที่อยู่อีกด้าน ควันบางส่วนเคลื่อนที่เข้ามาในสถานี แต่ถูก Exhaust Extract Fan ดูดไว้ ส่วน Air Supply Fan ทำหน้าที่อัดอากาศที่ เวลา (ง) 180 วินาที ถึง (จ) 240 วินาที ควันที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนของอุโมงค์ เคลื่อนที่ไปตามเพดานได้ระยะทางที่มากขึ้น ที่เวลา (ฉ) 300 วินาที ถึง (ช) 360 วินาที ควันบางส่วนซึ่งมีปริมาณน้อยมากเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดต่างๆ สู่ชั้น Upper Platform ที่เวลา (ซ) 420 วินาที ควันที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนของอุโมงค์ เคลื่อนที่ไปตามเพดานได้ระยะที่มากขึ้นจากที่เวลา 360 วินาที เป็นระยะทางประมาณ 13 เมตร

รูปที่ 4.6 แสดงกรณีที่ 4 ไม่มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่า (ก) 0 วินาที ไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันลอยขึ้นสู่ด้านบนของอุโมงค์ และเคลื่อนที่ไปตามเพดาน เมื่อควันเต็มพื้นที่ด้านบนของอุโมงค์จึงลอยต่ำลง ทำให้ควันบางส่วนเคลื่อนที่เข้ามาในสถานี ชั้น Lower Platform จากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที ควันเคลื่อนที่จนเกือบถึงปลายอุโมงค์อีกด้าน ส่วนควันภายในสถานี เคลื่อนที่แพร่จนทั่วเพดานของชั้น Lower Platform และมีควันบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนจนถึงชั้น Upper Platform ที่เวลา (ง) 180 วินาที ควันเคลื่อนที่จนถึงปลายอุโมงค์อีกด้าน ส่วนควันภายในสถานีบริเวณชั้น Lower Platform แพร่จนเกือบเต็มพื้นที่ ส่วนบริเวณชั้น Upper Platform ควันลอยจนถึงเพดานชั้นดังกล่าวและมีควันบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนจนถึงชั้น Concourse ที่เวลา (จ) 240 วินาที มีควันแพร่เกือบเต็มพื้นที่ของอุโมงค์ บริเวณชั้น Lower Platform มีควันแพร่เต็มพื้นที่ ส่วนบริเวณชั้น Upper Platform มีควันแพร่ไปตามเพดานของชั้น และบริเวณชั้น Concourse ควันลอยจนถึงเพดานชั้นดังกล่าว ที่เวลา (ฉ) 300 วินาที บริเวณชั้น Lower Platform และ Upper Platform ควันแพร่เต็มพื้นที่ ส่วนบริเวณชั้น Concourse มีควันแพร่ไปตามเพดานของชั้นมากขึ้น ที่เวลา (ช) 360 วินาที บริเวณชั้น Concourse มีควันแพร่ไปตามเพดานของชั้นมากขึ้นจนเกือบเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนขึ้นสู่ชั้น Commercial ที่เวลา (ซ) 420 วินาที บริเวณชั้น Commercial ควันลอยจนถึงเพดานชั้นดังกล่าวและมีการแพร่ไปตามชั้น



รูปที่ 4.5 แสดงการไหลของคว้นเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform กรณีที่ 3



รูปที่ 4.6 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

#### 4.5.6 กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

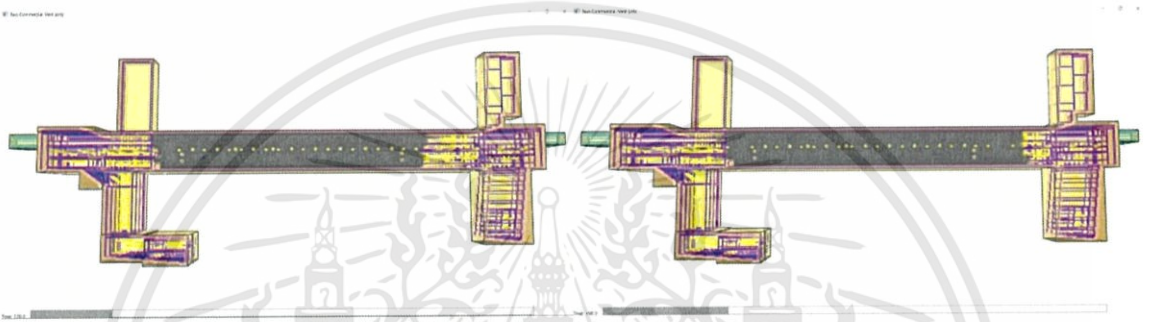
รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการไหลของควัน เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่กึ่งกลางชั้น Commercial รูปที่ 4.7 แสดงกรณีที่ 5 มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่าที่เวลา (ก) 0 วินาที ไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นจนเกือบถึงตำแหน่งของตัววัดค่า C1 และ C3 จากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นจนถึงตำแหน่งของตัววัดค่า C1 และ C3 ซึ่งมีระยะห่างจากบริเวณกองเพลิงเป็นระยะทาง 69 เมตรไปตามทางด้านซ้ายมือและขวามือ ที่เวลา (ง) 180 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นได้มากกว่าที่เวลา 120 วินาทีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากควันถูกดูดด้วย Exhaust Extract Fan ที่ติดตั้งไว้ ที่เวลา (จ) 240 วินาที (ฉ) 300 วินาที และ (ช) 360 วินาที ให้ผลไม่ต่างกันมาก กล่าวคือ ควันแพร่ไปตามชั้นได้มากกว่าที่เวลา 180 วินาทีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากควันถูกดูดด้วย Exhaust Extract Fan ที่ติดตั้งไว้ ที่เวลา (ซ) 420 วินาที ให้ผลการเคลื่อนที่ของควันไม่แตกต่างจากเวลาที่ 240 วินาที

รูปที่ 4.8 แสดงกรณีที่ 6 ไม่มีระบบระบายอากาศ ให้ระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ พบว่าที่เวลา (ก) 0 วินาที ไม่มีควันในพื้นที่ ที่เวลา (ข) 60 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นจนถึงตำแหน่งของตัววัดค่า C1 และ C3 ซึ่งมีระยะห่างจากบริเวณกองเพลิงเป็นระยะทาง 69 เมตรไปตามทางด้านซ้ายมือและขวามือ จากนั้นเวลา (ค) 120 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นจนถึงช่วงทางเดินของประตูทางเข้าออก 1-3 และเริ่มเข้าไปตามทางเดินเข้าออก 1 และ 2 ที่เวลา (ง) 180 วินาที ควันแพร่ไปตามชั้นจนทั่วทั้งชั้น Commercial ที่มีความยาว 261 เมตร และเข้าไปตามทางเดินเข้าออก 1-3 โดยทางเข้าออก 1 ควันเริ่มแพร่ไปทั่วบริเวณ ส่วนทางเข้าออก 2 และ 3 ควันเคลื่อนที่ได้เพียงครึ่งหนึ่งของระยะทาง ที่เวลา (จ) 240 วินาที ควันแพร่ไปตามทางเดินเข้าออก 1 และ 3 จนเต็ม ส่วนทางเดินเข้าออก 2 ซึ่งมีระยะทางเดินมากที่สุด ควันเคลื่อนที่จนเกือบถึงตำแหน่งตัววัดค่า G2 ที่เวลา (ฉ) 300 วินาที ควันเคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งตัววัดค่า G2 ที่เวลา (ช) 360 วินาที ถึง (ซ) 420 วินาที ควันแพร่กระจายจนเต็มพื้นที่ชั้น Commercial



(ก) 0 วินาที

(ข) 60 วินาที



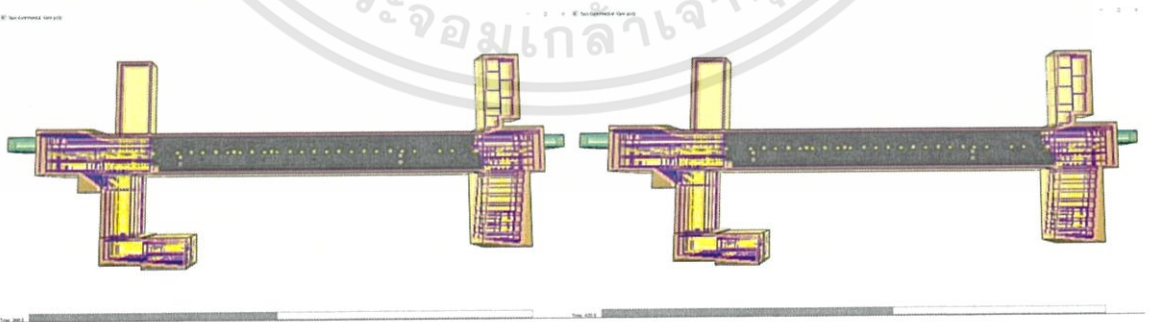
(ค) 120 วินาที

(ง) 180 วินาที



(จ) 240 วินาที

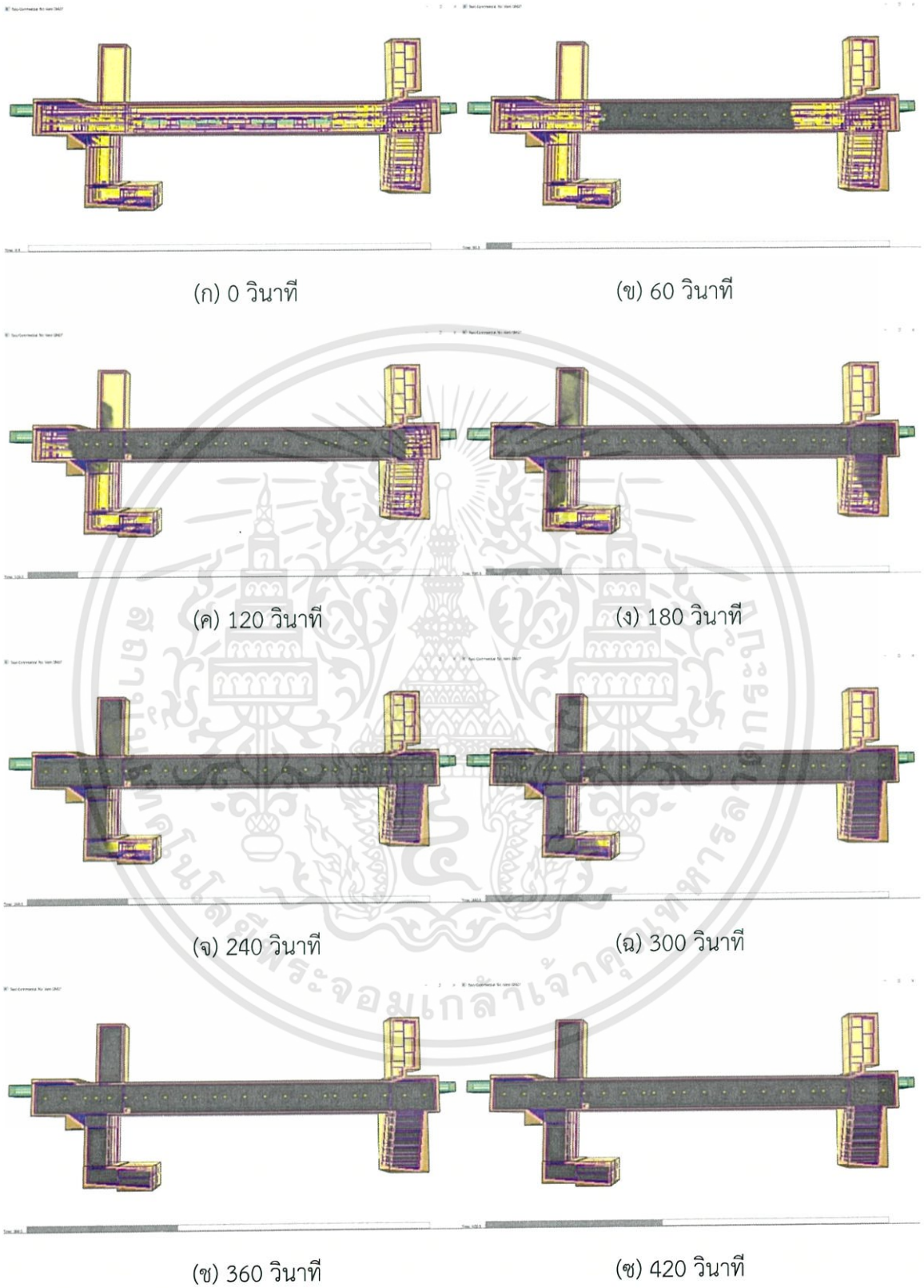
(ฉ) 300 วินาที



(ช) 360 วินาที

(ซ) 420 วินาที

รูปที่ 4.7 แสดงการไหลของควันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial กรณีที่ 5



รูปที่ 4.8 แสดงการไหลของควันทันเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial กรณีที่ 6

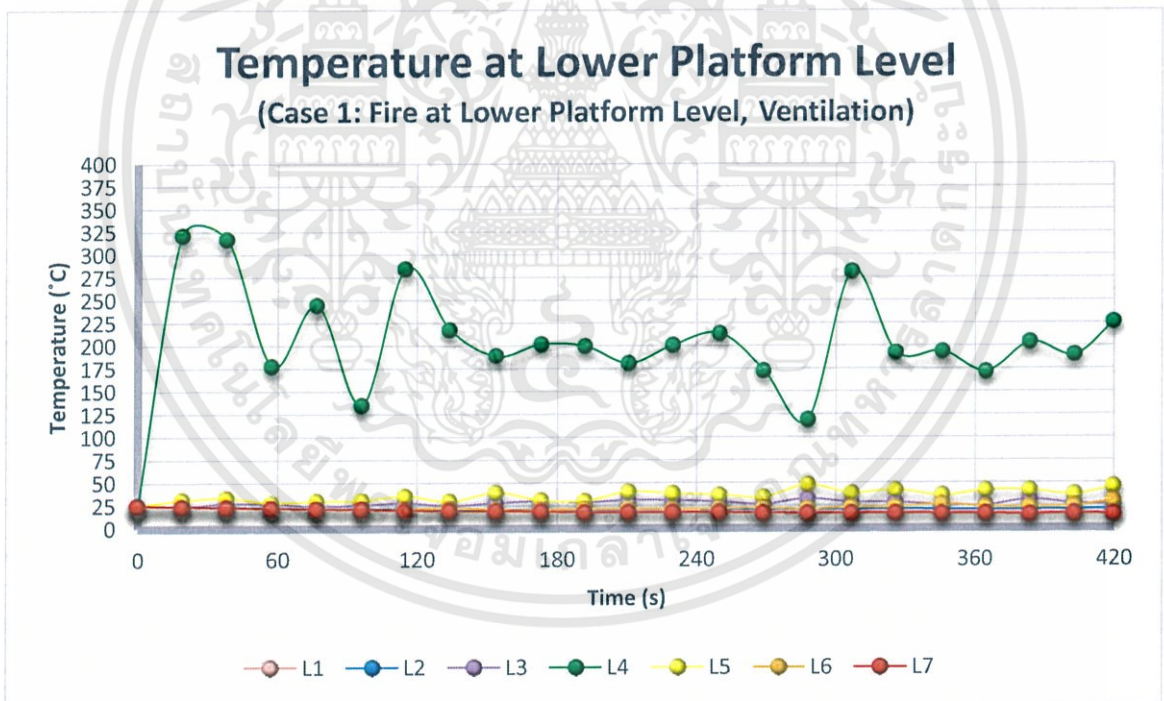
## 4.2 ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

### 4.2.1 กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

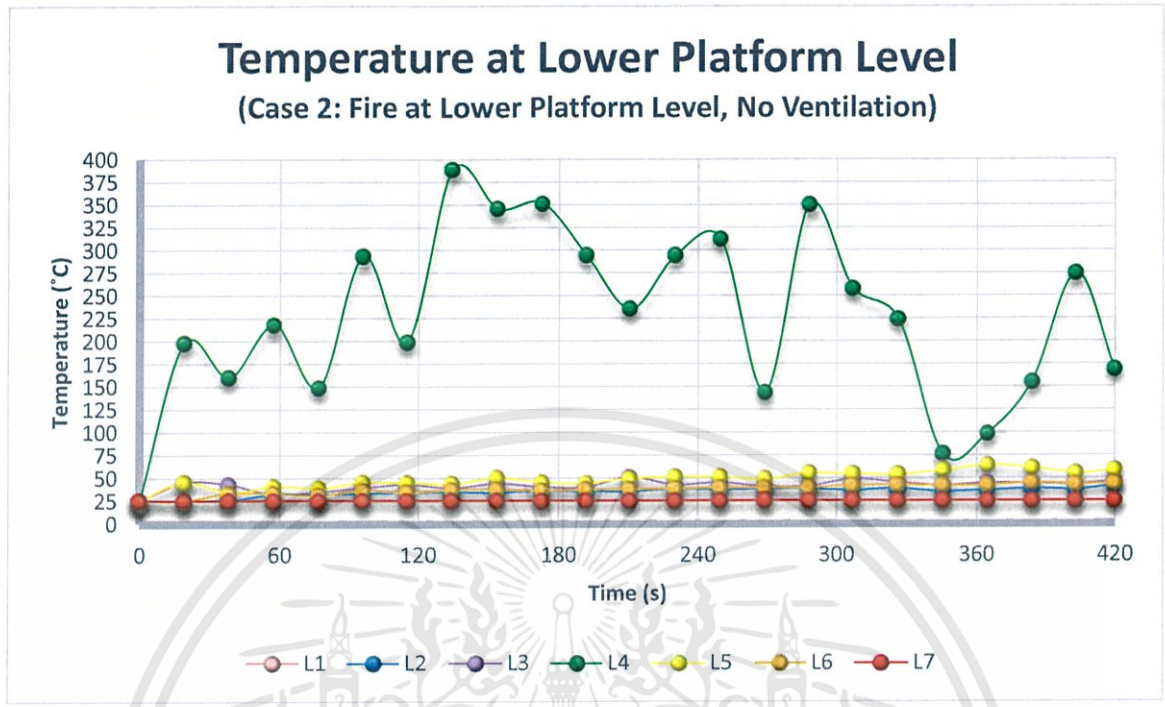
รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L4 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 202.8 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 226.8 °C

ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.7 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 45.2 °C

ตำแหน่งที่ L1 L2 L6 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากกองเพลิงออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 20.6 °C สำหรับกรณีที่มีระบบระบายอากาศ และ 30.7 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศ



รูปที่ 4.9 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1

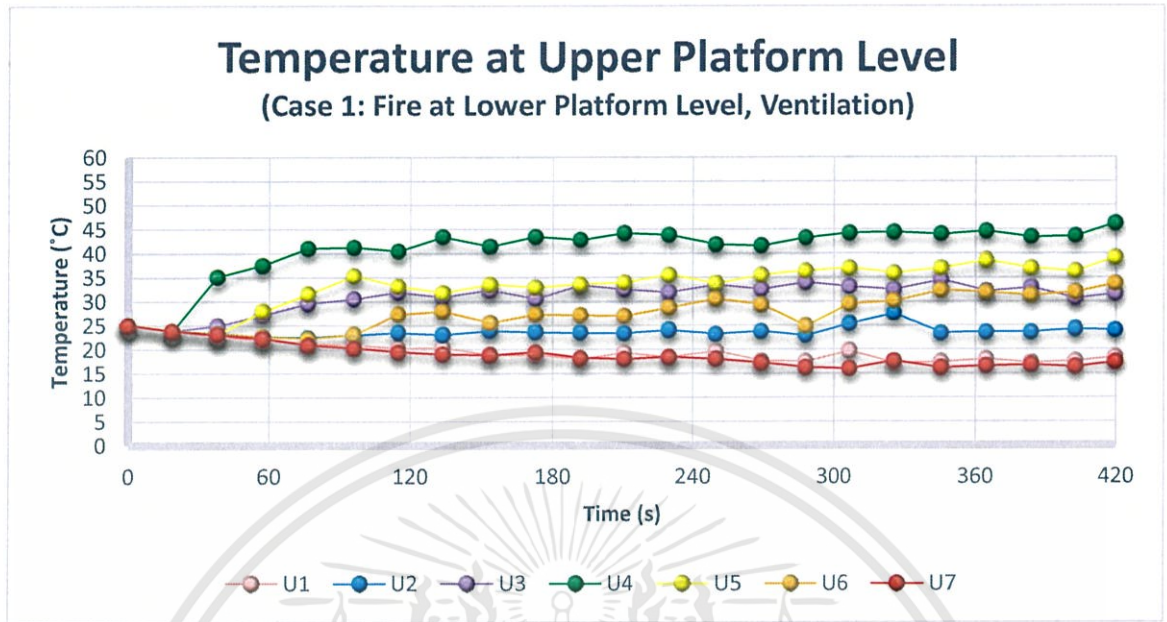


รูปที่ 4.10 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2

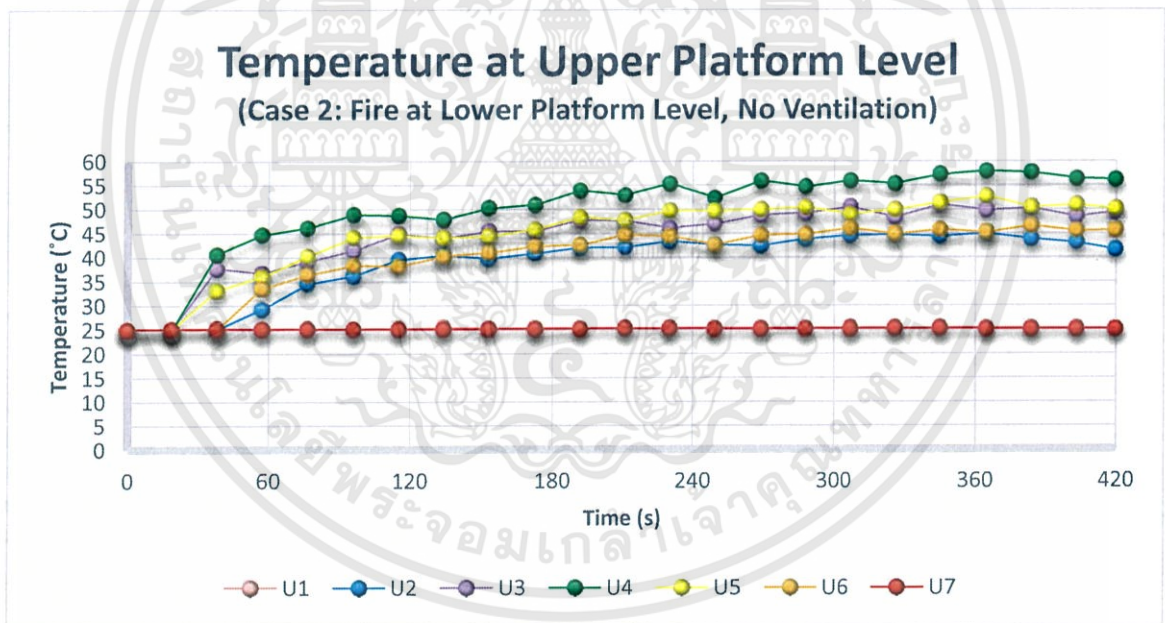
รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 40.9 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 50 °C

ตำแหน่งที่ U3 และ U5 เป็นพื้นที่ทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และยังเป็นบริเวณช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และชั้น Concourse อีกด้วย ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 32.2 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 44.7 °C

ตำแหน่งที่ U1 U2 U6 และ U7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 22.5 °C สำหรับกรณีที่มีระบบระบายอากาศ และ 32.5 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศ



รูปที่ 4.11 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1

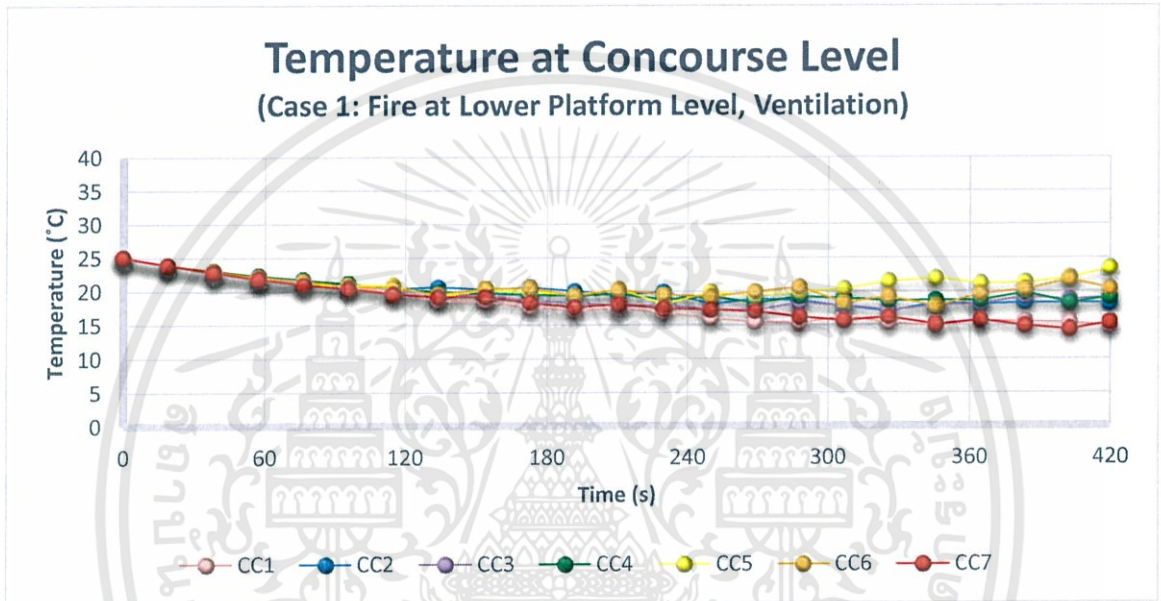


รูปที่ 4.12 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2

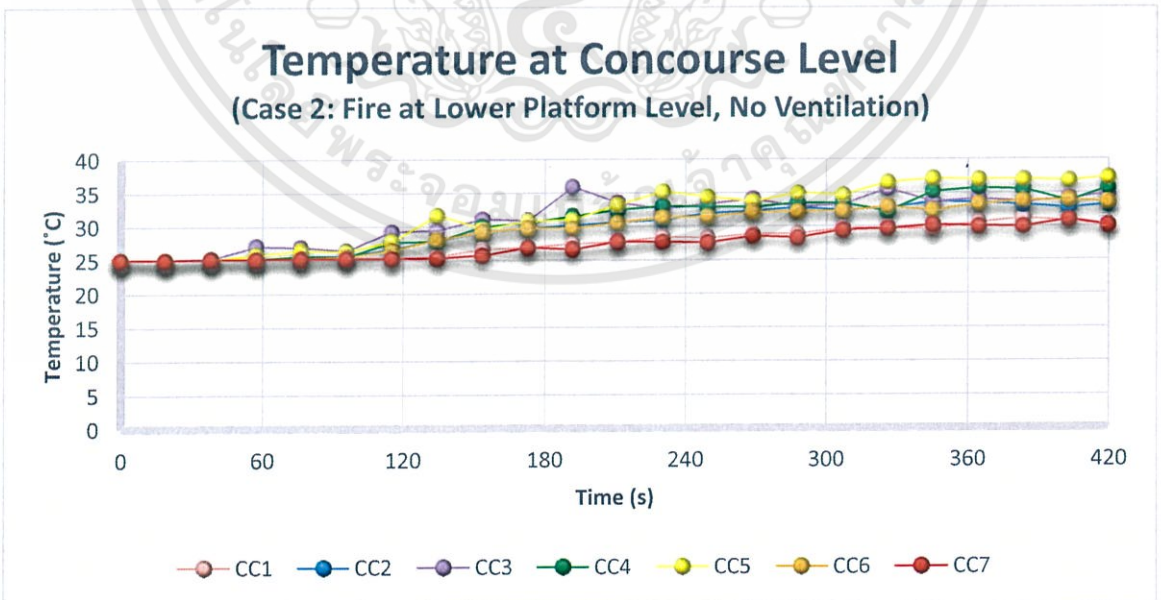
รูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และ Concourse) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 20.2 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.7 °C

ตำแหน่งที่ CC3 และ CC5 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 เป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 20.5 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 °C

ตำแหน่งที่ CC1 CC2 CC6 และ CC7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 ออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 19.3 °C สำหรับกรณีที่มีระบบระบายอากาศ และ 28.7 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศ



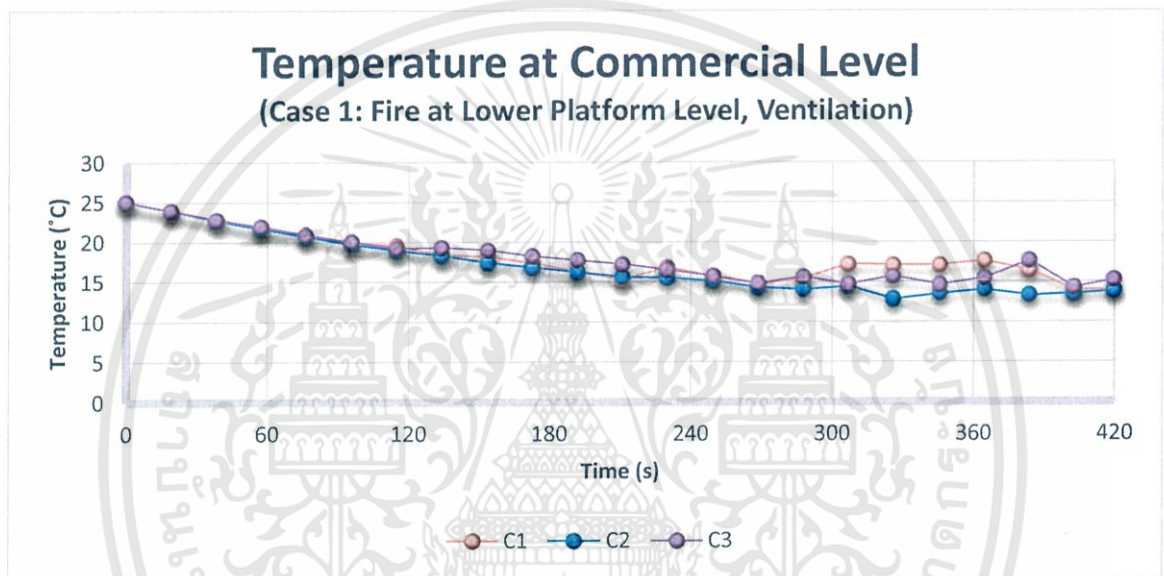
รูปที่ 4.13 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1



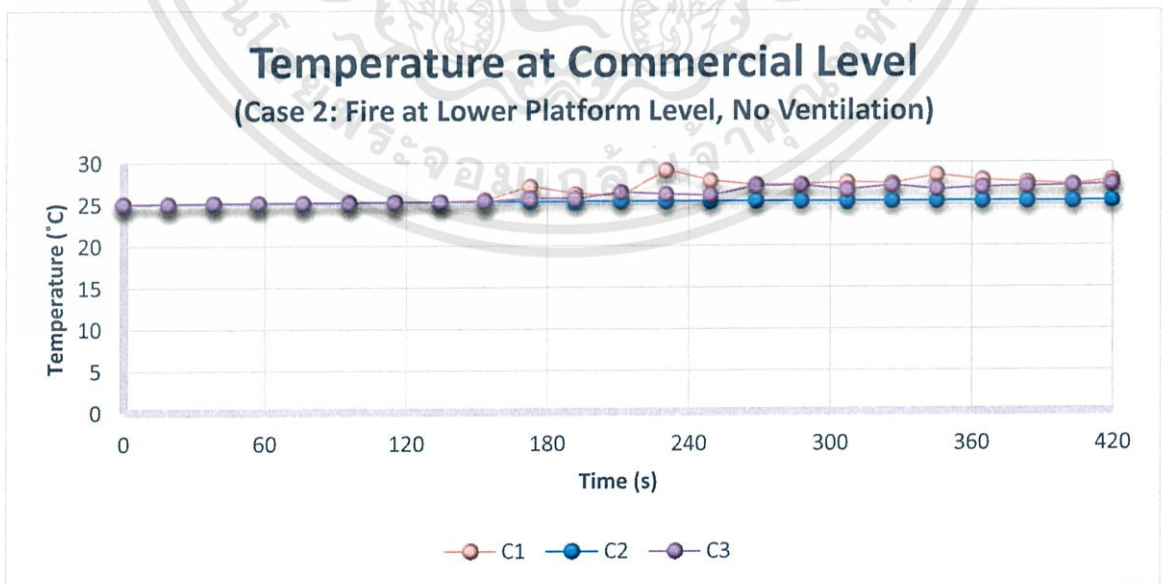
รูปที่ 4.14 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 17 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25.3 °C

ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 18.1 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.4 °C

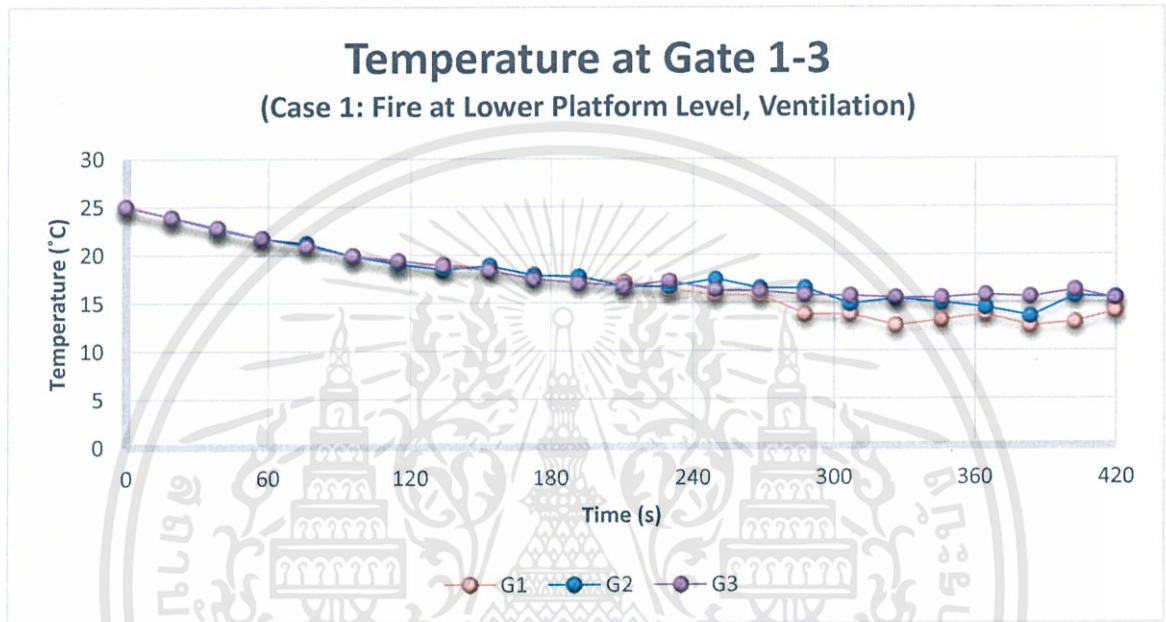


รูปที่ 4.15 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1

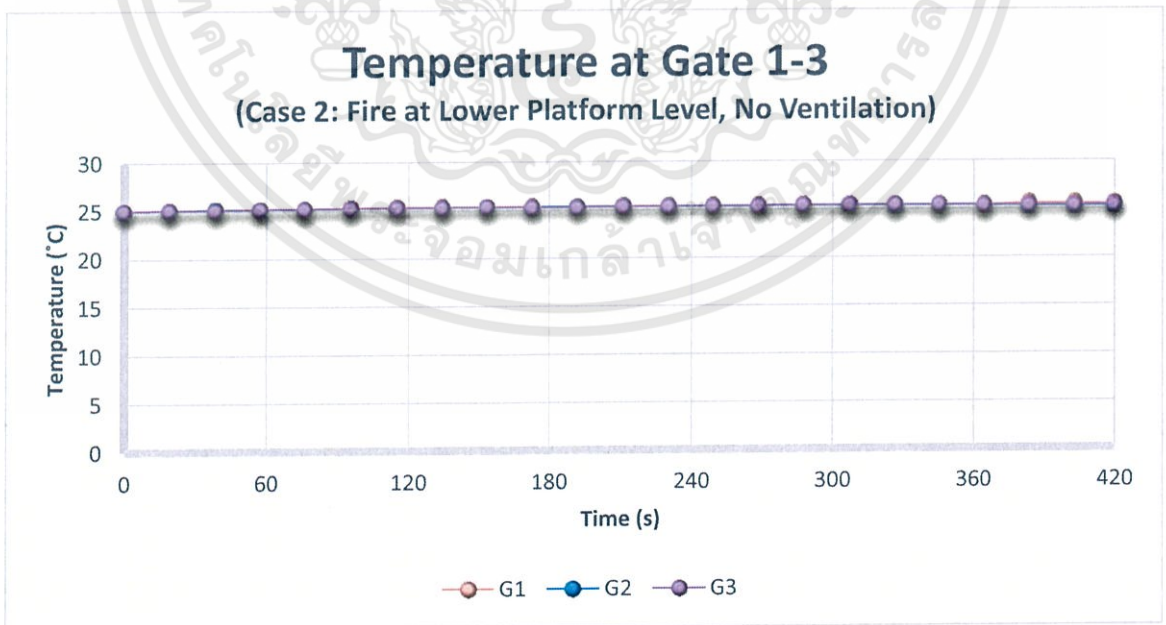


รูปที่ 4.16 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2

รูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 17.8 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25.3 °C



รูปที่ 4.17 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.18 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2

ผลสรุปของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2)

ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (°C)							
	บริเวณชั้น Lower Platform						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	20.6	20.6	31.7	202.8	31.7	20.6	20.6
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	30.7	30.7	45.2	226.8	45.2	30.7	30.7
	บริเวณชั้น Upper Platform						
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	22.5	22.5	32.2	40.9	32.2	22.5	22.5
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	32.5	32.5	44.7	50	44.7	32.5	32.5
	บริเวณชั้น Concourse						
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	19.3	19.3	20.5	20.2	20.5	19.3	19.3
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	28.7	28.7	31.5	30.7	31.5	28.7	28.7
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
	C1	C2	C3	G1	G2	G3	
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	18.1	17	18.1	17.8	17.8	17.8	
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	26.4	25.3	26.4	25.3	25.3	25.3	

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

$$Effectiveness = \frac{No\ Ventilation - Ventilation}{No\ Ventilation} \times 100\% \quad (4.1)$$

เมื่อ *Effectiveness* คือ ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ

*No Ventilation* คือ ผลของอุณหภูมิ [ $^{\circ}C$ ] หรือผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ [*ppm*] ก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศ

*Ventilation* คือ ผลของอุณหภูมิ [ $^{\circ}C$ ] หรือผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ [*ppm*] หลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)						
บริเวณชั้น Lower Platform						
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
32.90	32.90	29.87	10.58	29.87	32.90	32.90
บริเวณชั้น Upper Platform						
U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
30.77	30.77	27.96	18.20	27.96	30.77	30.77
บริเวณชั้น Concourse						
CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
32.75	32.75	34.92	34.20	34.92	32.75	32.75
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
C1	C2	C3	G1	G2	G3	
31.44	32.81	31.44	29.64	29.64	29.64	

พบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิบริเวณกองเพลิงได้ 10.58 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปอย่างต่ำ 23 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse ทางเดิน และเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform สามารถลดอุณหภูมิลงได้ 29.87-32.90 % ลดอุณหภูมิบริเวณชั้น Upper Platform ลงได้ 18.20-30.77 % ลดอุณหภูมิบริเวณชั้น Concourse ลงได้ 32.75-34.92 % ลดอุณหภูมิบริเวณชั้น Commercial และบริเวณ Gate1-3 ลงได้ 29.64-32.81 %

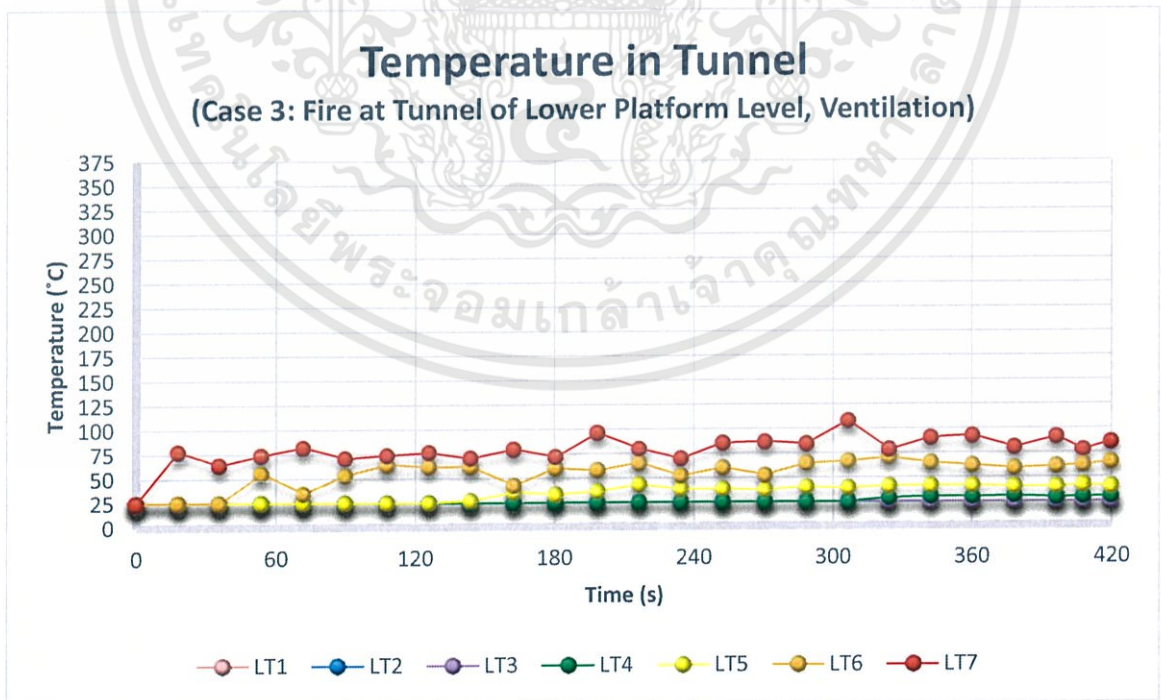
#### 4.2.2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ LT7 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 78.9 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 152.7 °C

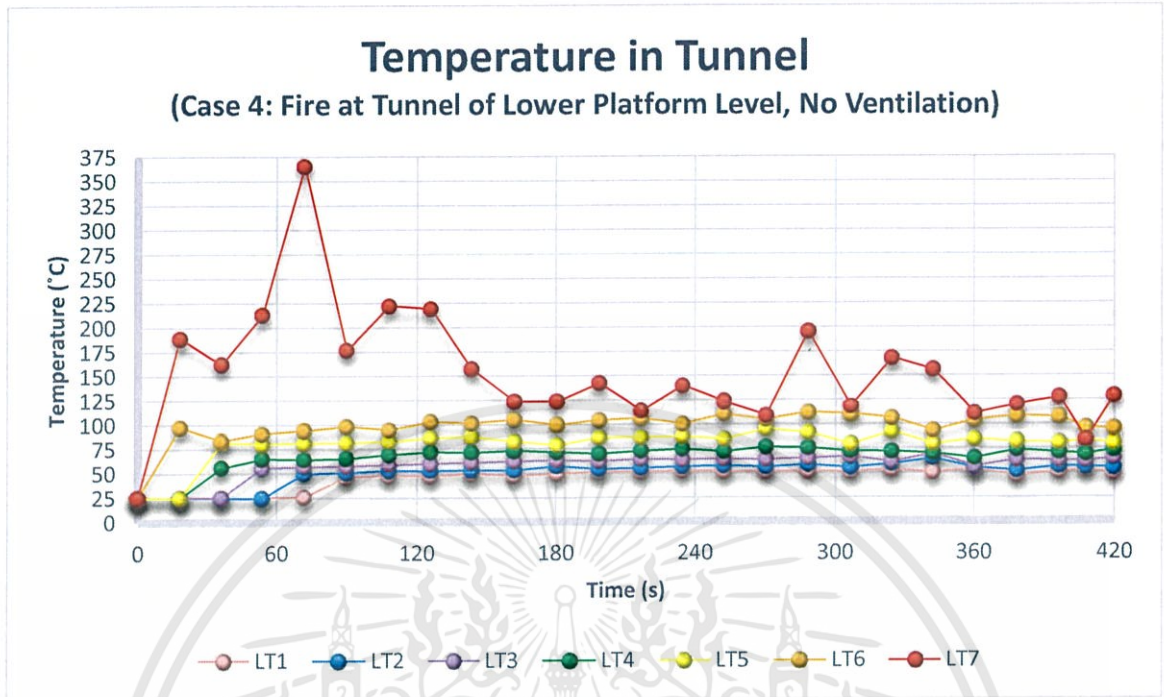
ตำแหน่ง LT6 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 54.8 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 98.3 °C

ตำแหน่ง LT5 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 34.1 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 79.6 °C

ตำแหน่ง LT4 LT3 LT2 และ LT1 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทางอย่างน้อย 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศตำแหน่ง LT4 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.3 °C ตำแหน่ง LT3 LT2 และ LT1 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 60 °C



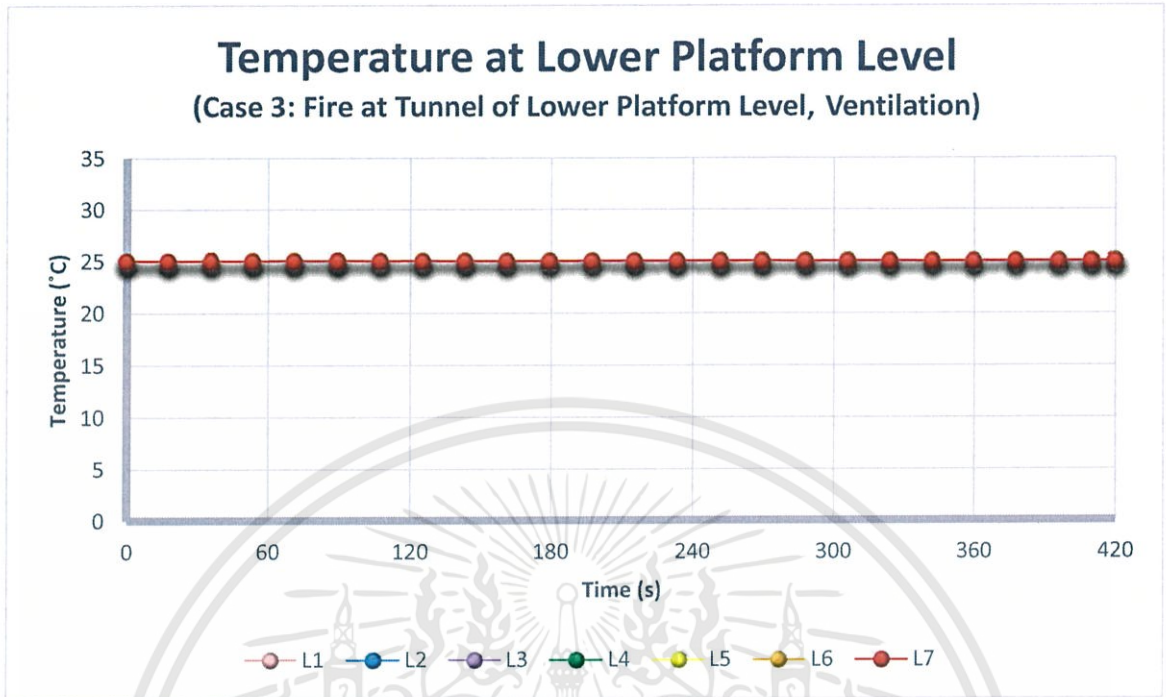
รูปที่ 4.19 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3



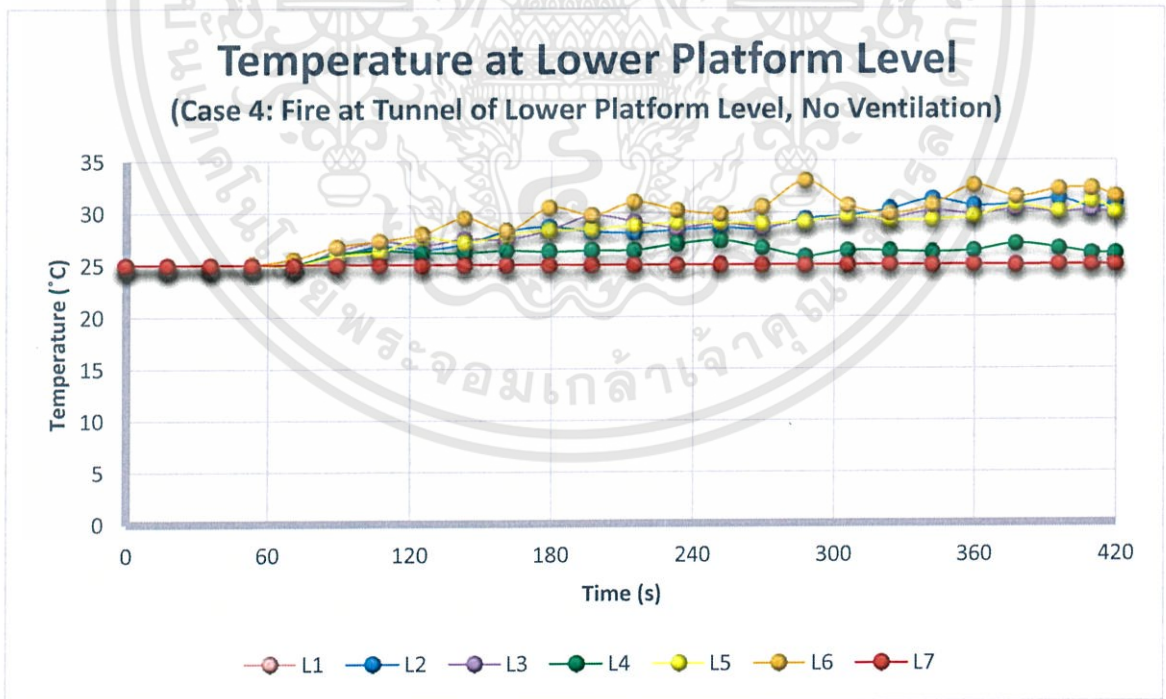
รูปที่ 4.20 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L6 ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และเป็นบริเวณของ Platform Screen Door บานแรกที่ควันไฟวิ่งถึงในทิศทางตรงข้ามกับพัดลมดูดอากาศ กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.1 °C

ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และตำแหน่งที่ L1 L2 L4 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 27 °C

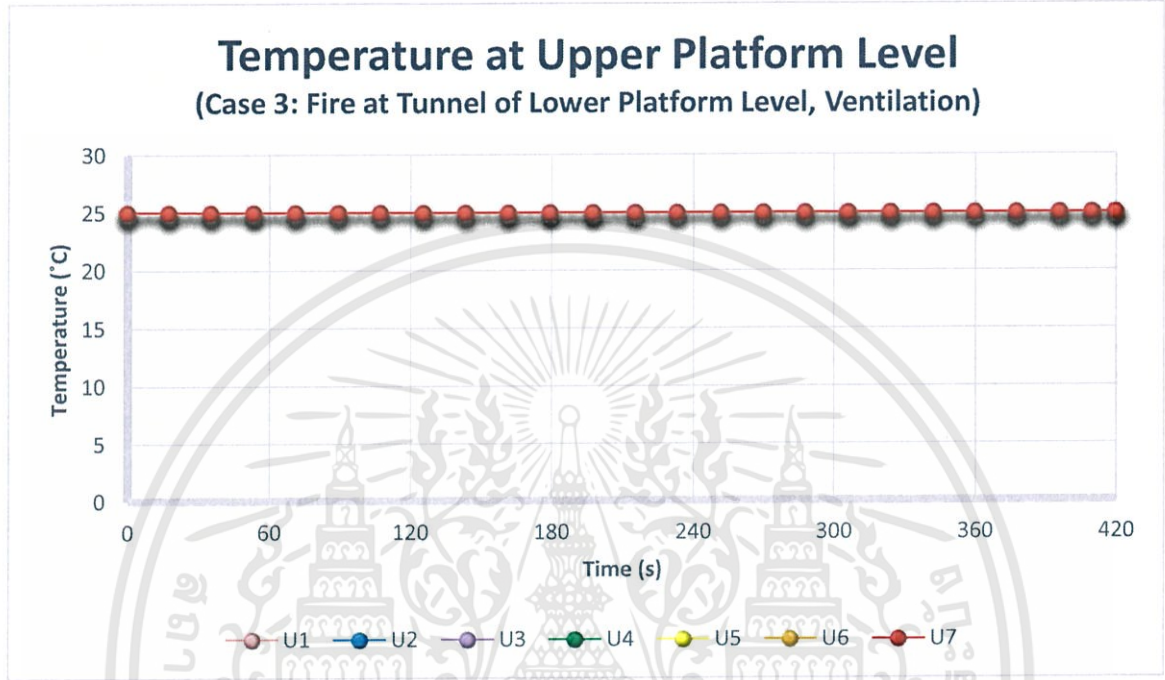


รูปที่ 4.21 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 3

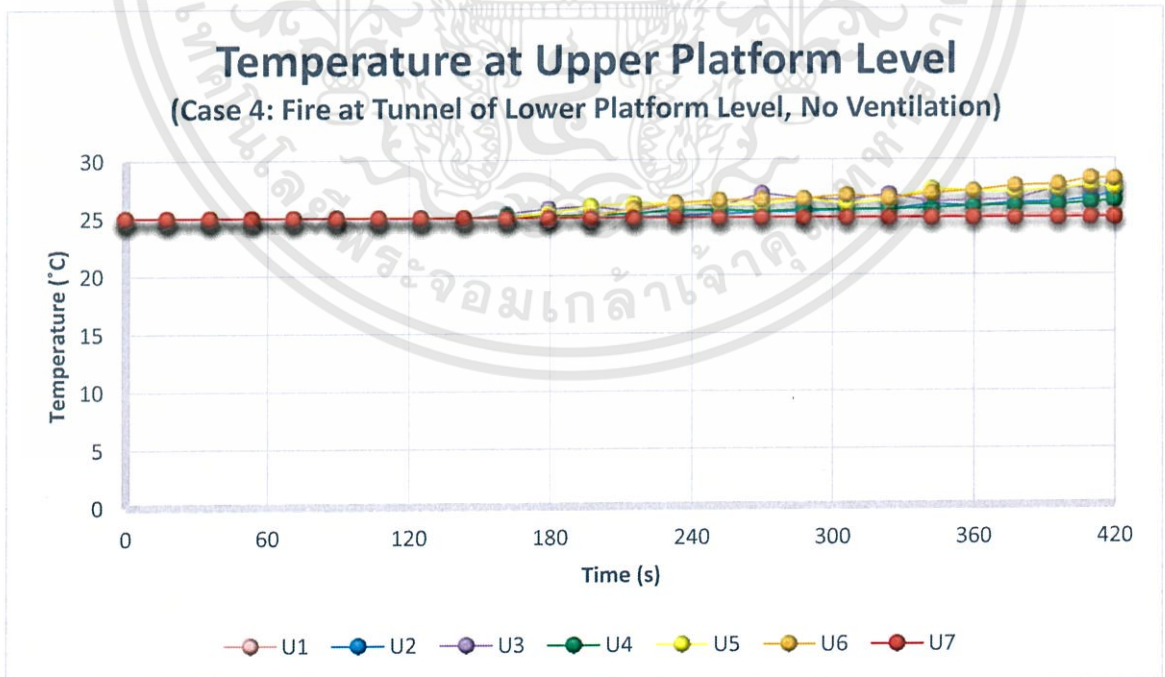


รูปที่ 4.22 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U1-U4 กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25.6 °C

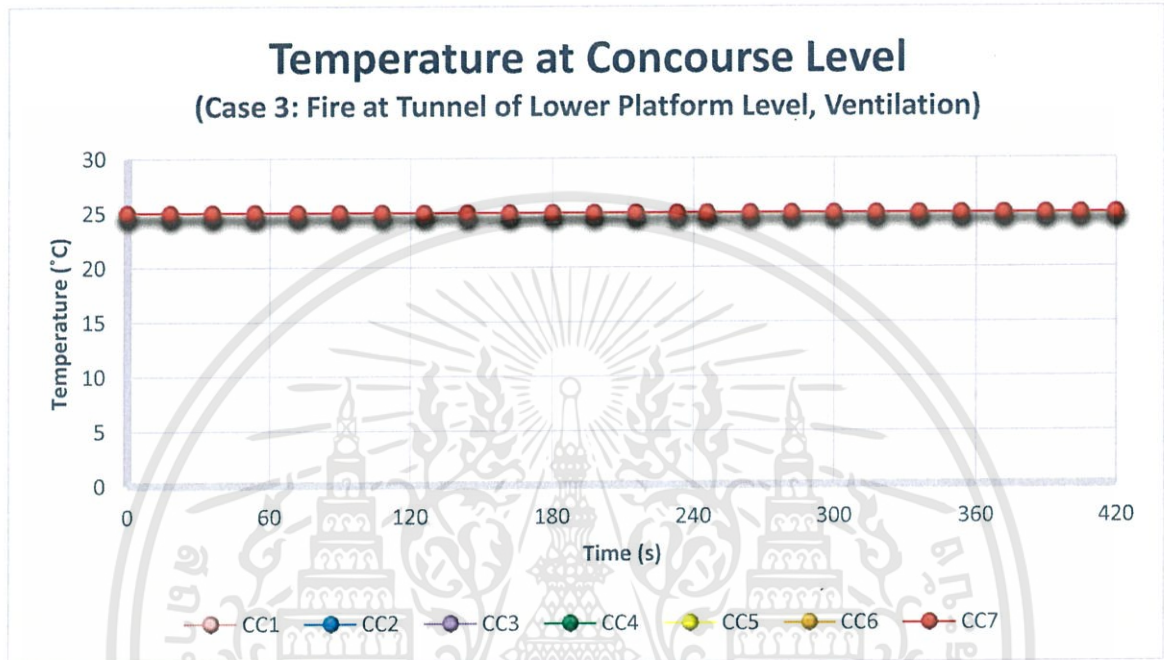


รูปที่ 4.23 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 3

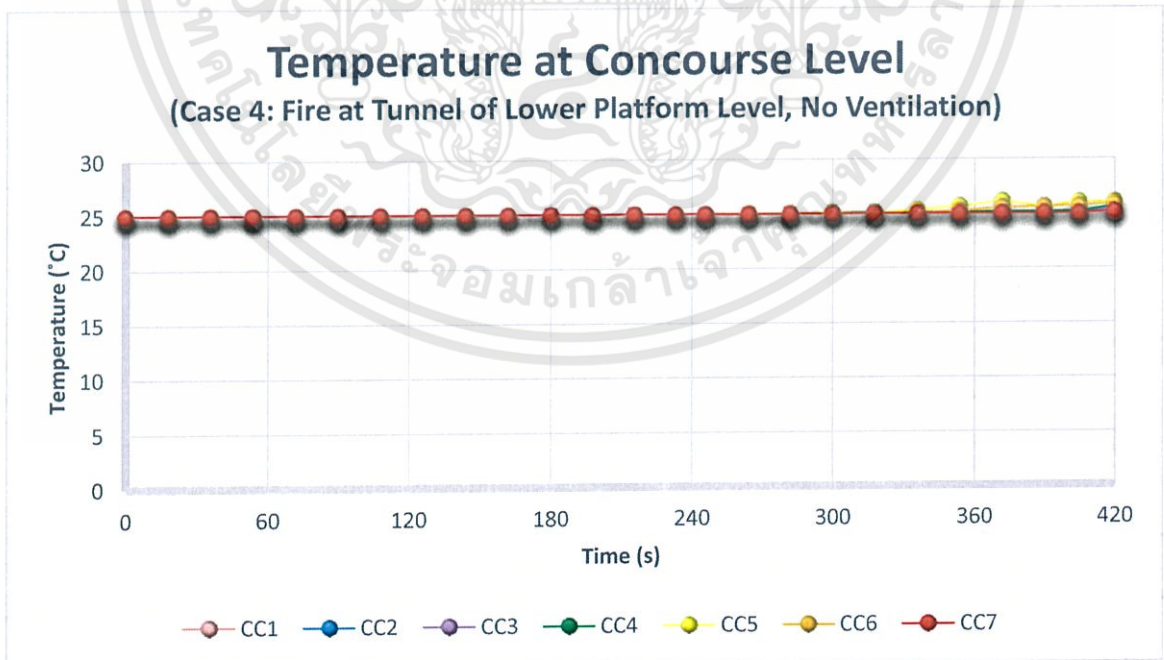


รูปที่ 4.24 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC1-CC7 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ ดังนั้นแสดงว่าบริเวณชั้น Commercial และบริเวณ Gate 1-3 คิวไฟยังเคลื่อนที่ไปไม่ถึงและมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 25 °C



รูปที่ 4.25 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 3



รูปที่ 4.26 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 4

ผลสรุปของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4)

ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (°C)							
	ภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform						
	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5	LT6	LT7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	26.3	34.1	54.8	78.9
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	60	60	60	60	79.6	98.3	152.7
	บริเวณชั้น Lower Platform						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	25
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	30.1	25
	บริเวณชั้น Upper Platform						
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	25
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6
	บริเวณชั้น Concourse						
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	25
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	25
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
	C1	C2	C3	G1	G2	G3	
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	25	25	25	25	25	25	

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4)

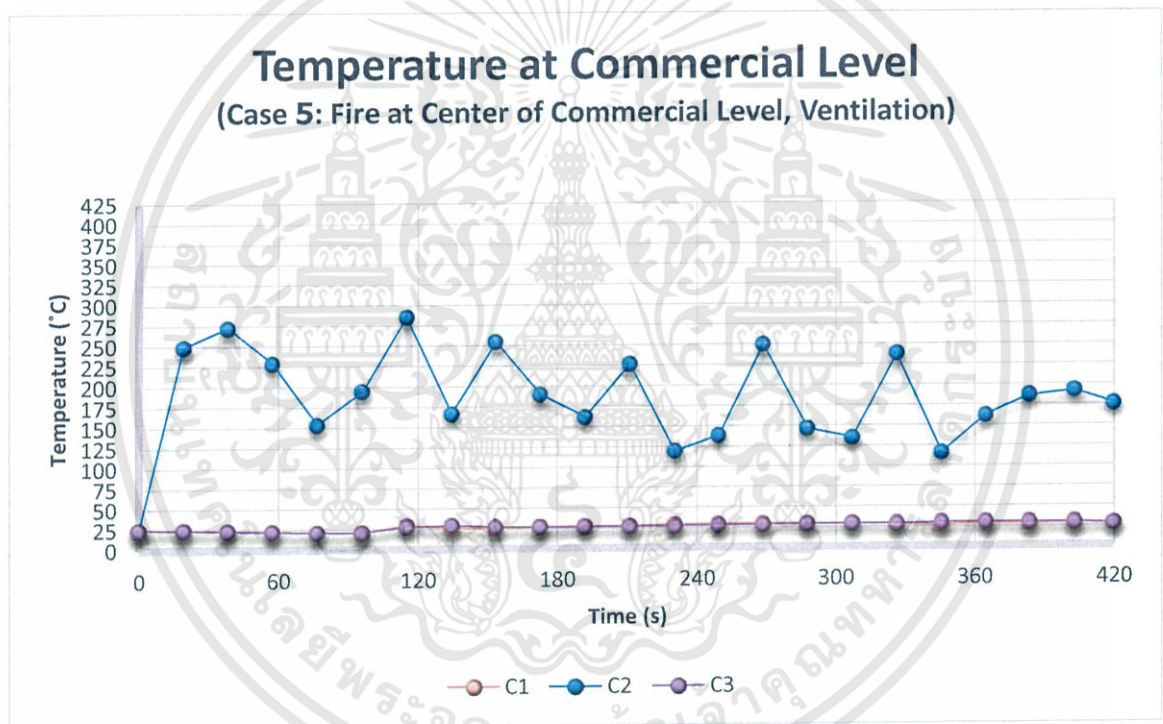
ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)						
ภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform						
LT1	LT2	LT3	LT4	LT5	LT6	LT7
58.33	58.33	58.33	56.17	57.16	44.25	48.33
บริเวณชั้น Lower Platform						
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	16.94	0
บริเวณชั้น Upper Platform						
U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34
บริเวณชั้น Concourse						
CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
0	0	0	0	0	0	0
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
C1	C2	C3	G1	G2	G3	
0	0	0	0	0	0	

จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิบริเวณกองเพลิงได้ 48.33 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปอย่างต่ำ 23 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งอื่นๆ ภายในอุโมงค์สามารถลดอุณหภูมิลงได้ 44.25-58.33 % ลดอุณหภูมิบริเวณชั้น Lower Platform ลงได้ 7.75-16.94 % ลดอุณหภูมิบริเวณชั้น Upper Platform ลงได้ 2.34 % บริเวณอื่นๆ ผลจากการติดตั้งระบบระบายอากาศไม่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิ

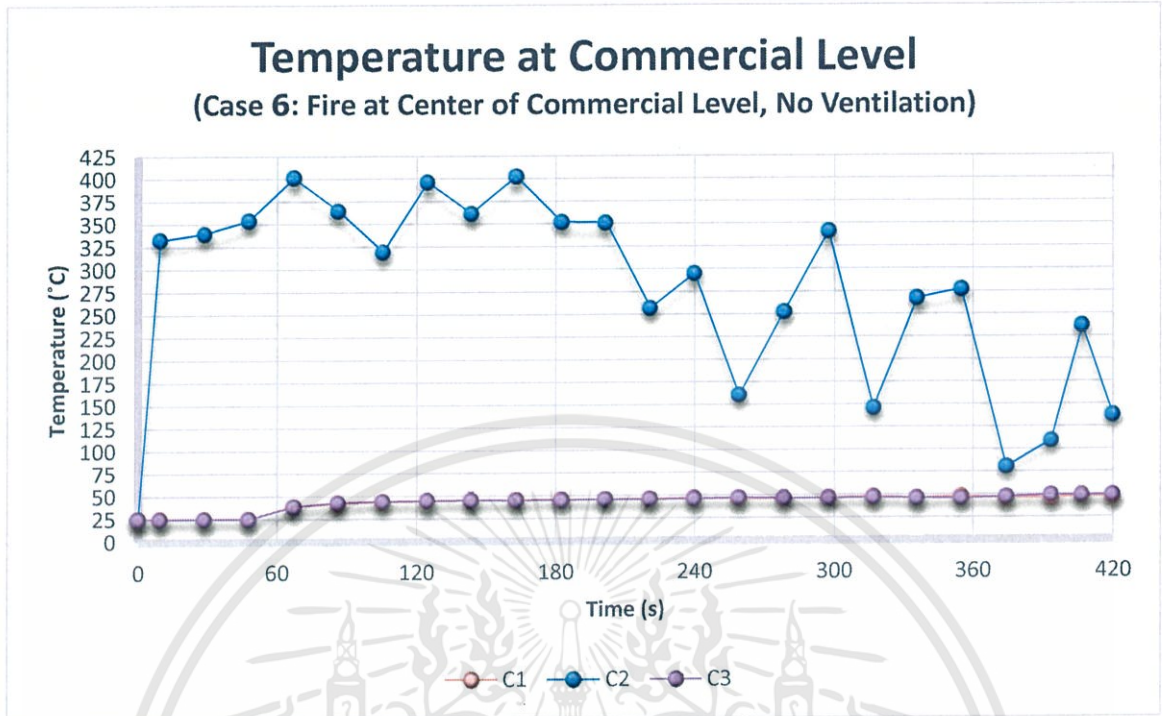
#### 4.2.3 กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกับกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 185.8 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 284.3 °C

ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 26.6 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 43 °C

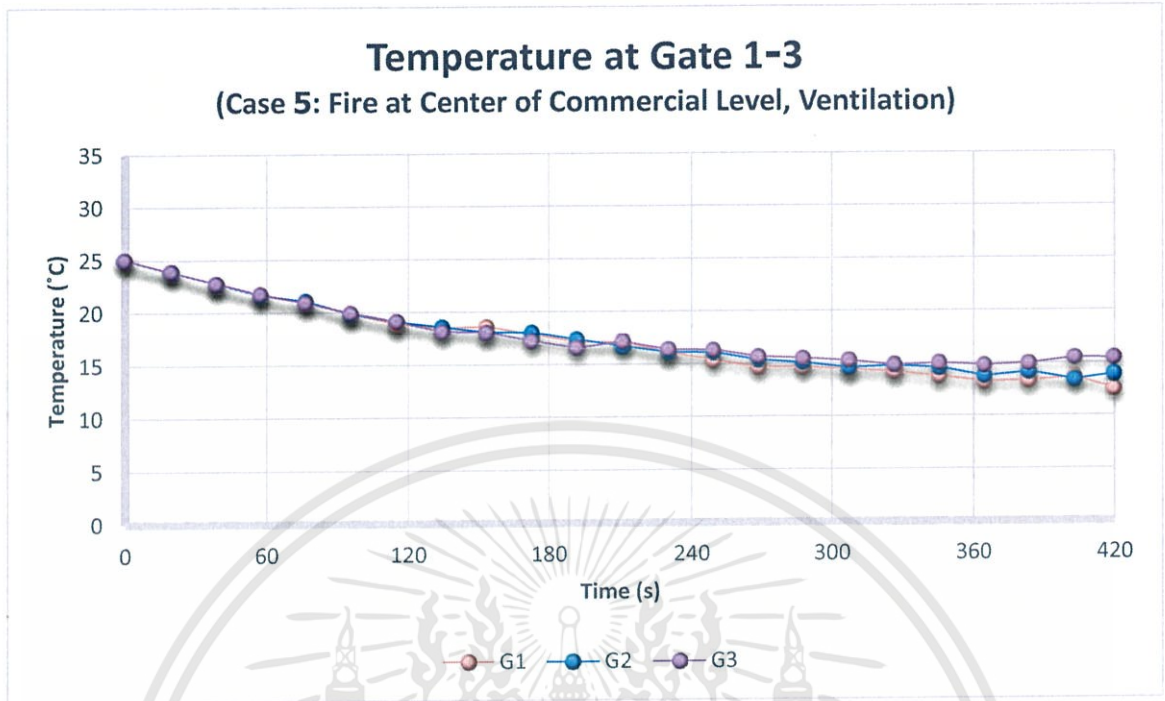


รูปที่ 4.27 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5

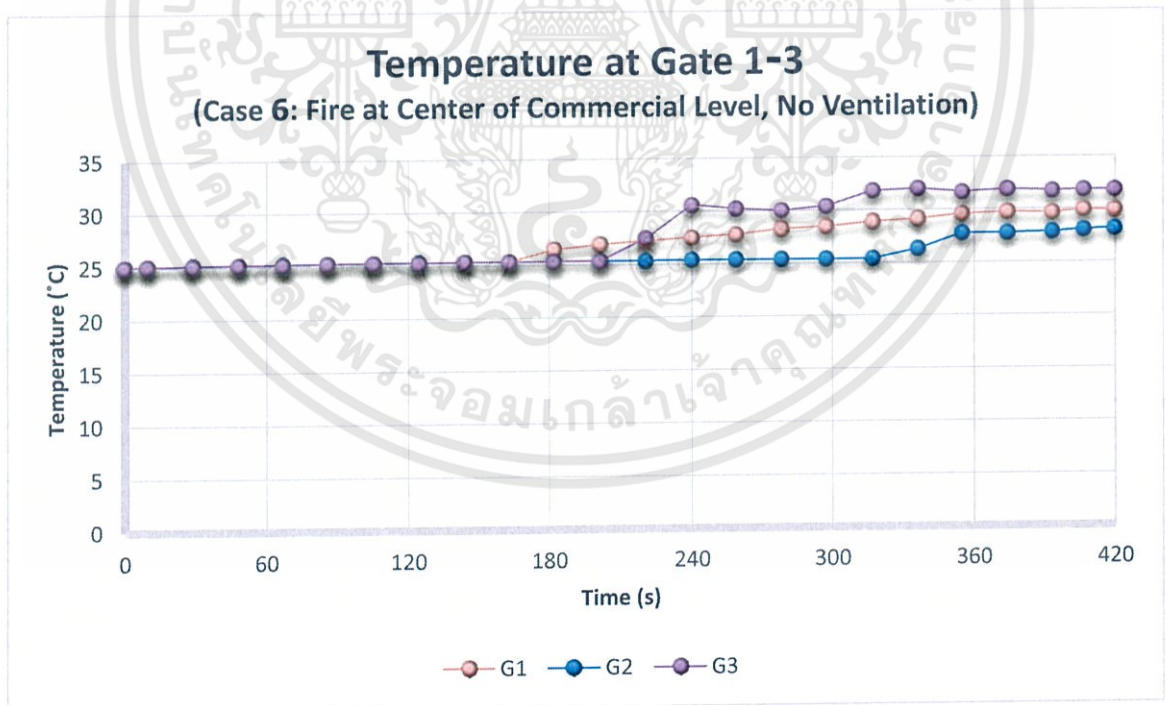


รูปที่ 4.28 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6

รูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 °C สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 27.9 °C



รูปที่ 4.29 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5



รูปที่ 4.30 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6

ผลสรุปของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6)

ผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน (°C)						
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3		
	C1	C2	C3	G1	G2	G3
กรณีที่ 5 : มีระบบระบายอากาศ	26.6	185.8	26.6	17.6	17.6	17.6
กรณีที่ 6 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	43	284.3	43	27.9*	27.9*	27.9*

\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)					
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3		
C1	C2	C3	G1	G2	G3
38.14	34.65	38.14	36.92	36.92	36.92

จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิบริเวณกองเพลิงได้ 34.65 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse สามารถลดอุณหภูมิลงได้ 38.14 % และบริเวณ Gate1-3 สามารถลดอุณหภูมิลงได้ 36.92 %

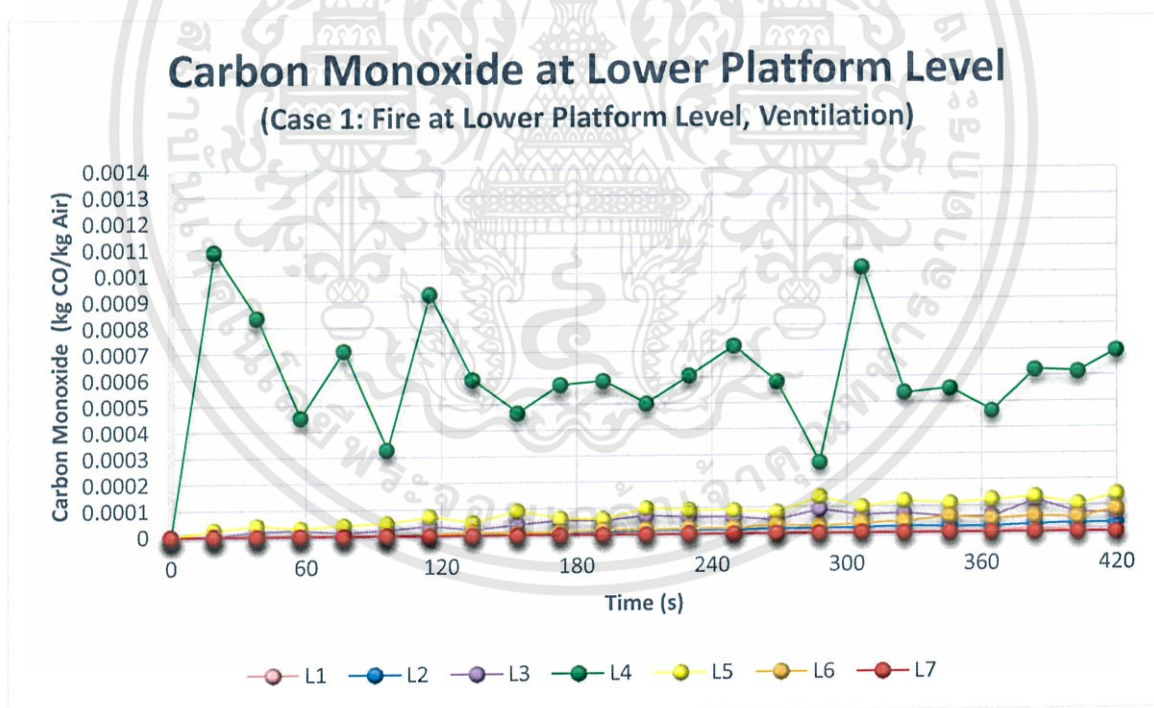
### 4.3 ผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

#### 4.3.1 กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L4 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 598 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 697 ppm

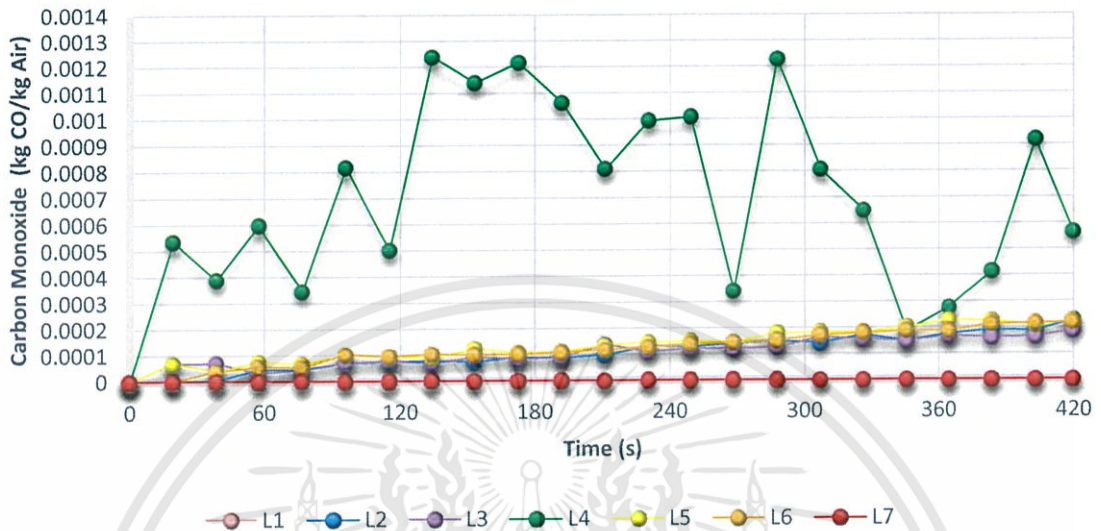
ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 65 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 120 ppm

ตำแหน่งที่ L1 L2 L6 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากกองเพลิงออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 18 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 114 ppm



รูปที่ 4.31 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1

## Carbon Monoxide at Lower Platform Level (Case 2: Fire at Lower Platform Level, No Ventilation)



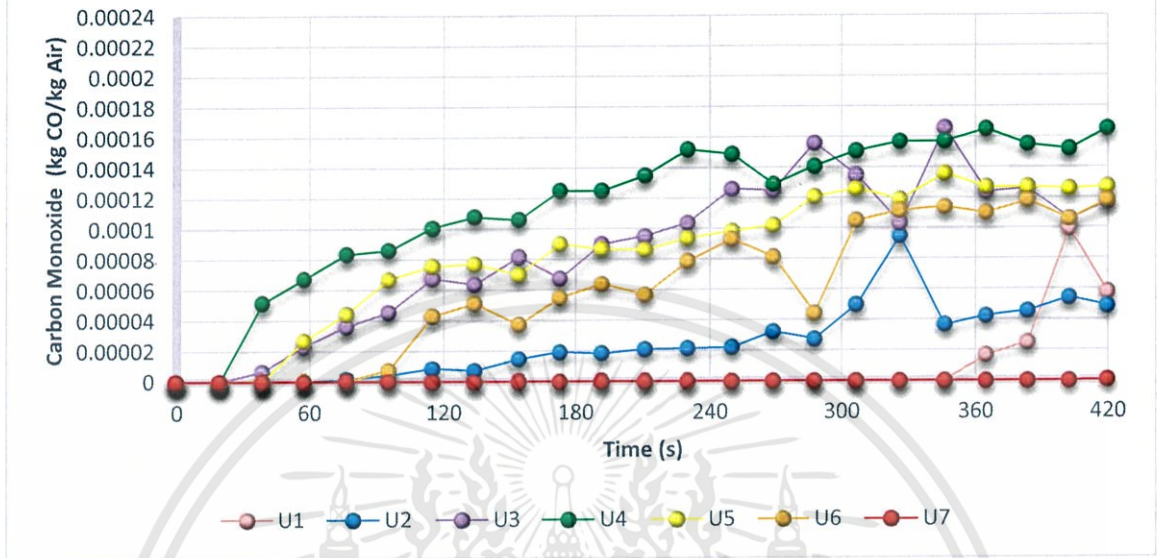
รูปที่ 4.32 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2

รูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform) กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 116 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 141 ppm

ตำแหน่งที่ U3 และ U5 เป็นพื้นที่ทางเดินไปสู่อันโถงและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และยังเป็นบริเวณช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และชั้น Concourse อีกด้วย ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 85 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 122 ppm

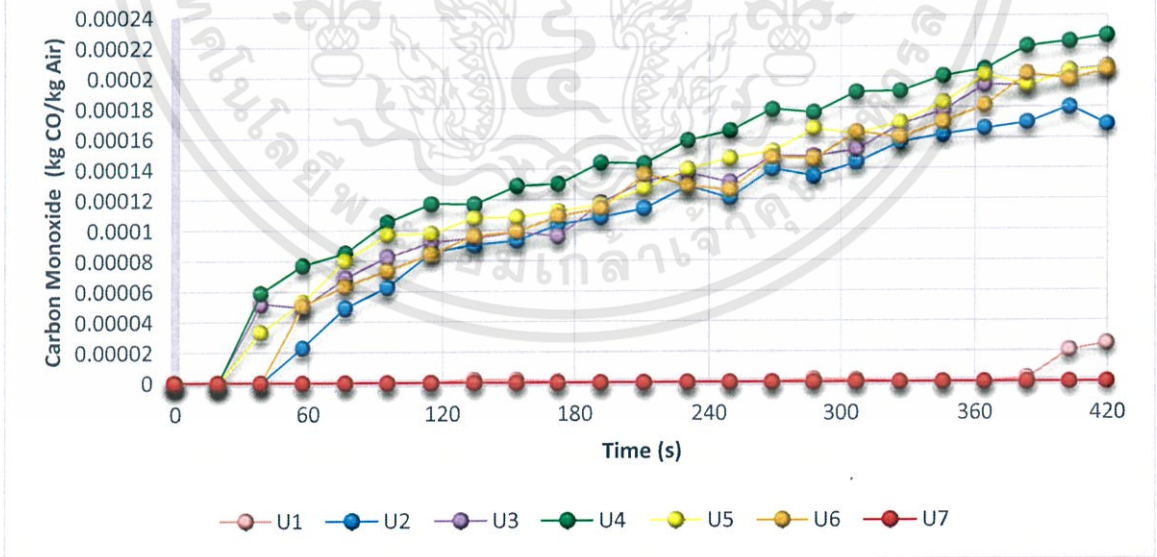
ตำแหน่งที่ U1 U2 U6 และ U7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 43 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 110 ppm

### Carbon Monoxide at Upper Platform Level (Case 1: Fire at Lower Platform Level, Ventilation)



รูปที่ 4.33 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1

### Carbon Monoxide at Upper Platform Level (Case 2: Fire at Lower Platform Level, No Ventilation)

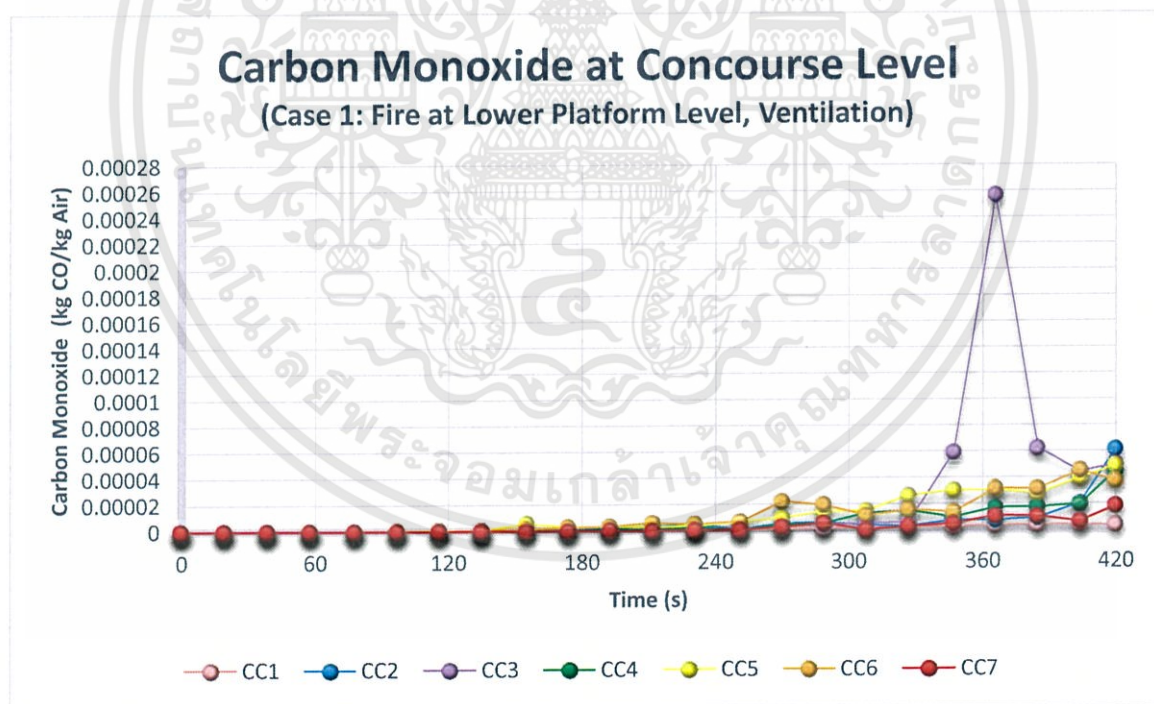


รูปที่ 4.34 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2

รูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และ Concourse) กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 15 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 120 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 83 ppm

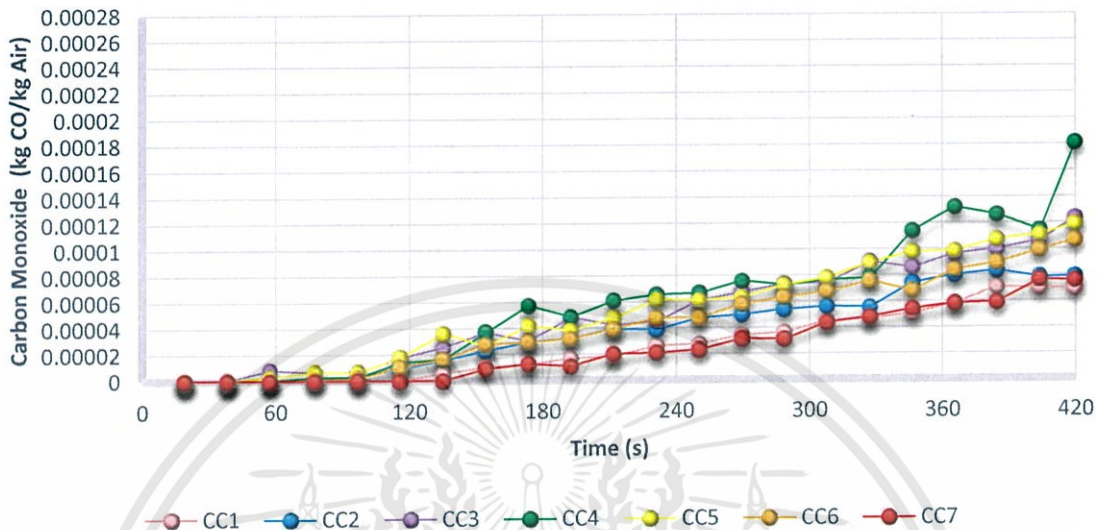
ตำแหน่งที่ CC3 และ CC5 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 เป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 37 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 120 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 71 ppm

ตำแหน่งที่ CC1 CC2 CC6 และ CC7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 ออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 18 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 120 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 56 ppm



รูปที่ 4.35 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1

## Carbon Monoxide at Concourse Level (Case 2: Fire at Lower Platform Level, No Ventilation)

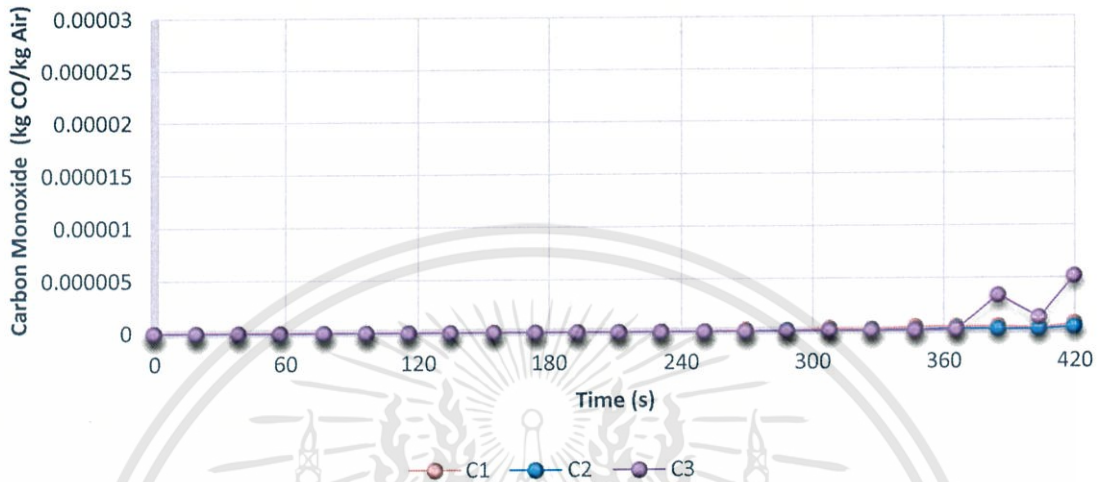


รูปที่ 4.36 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2

รูปที่ 4.37 ถึง 4.38 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) ปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

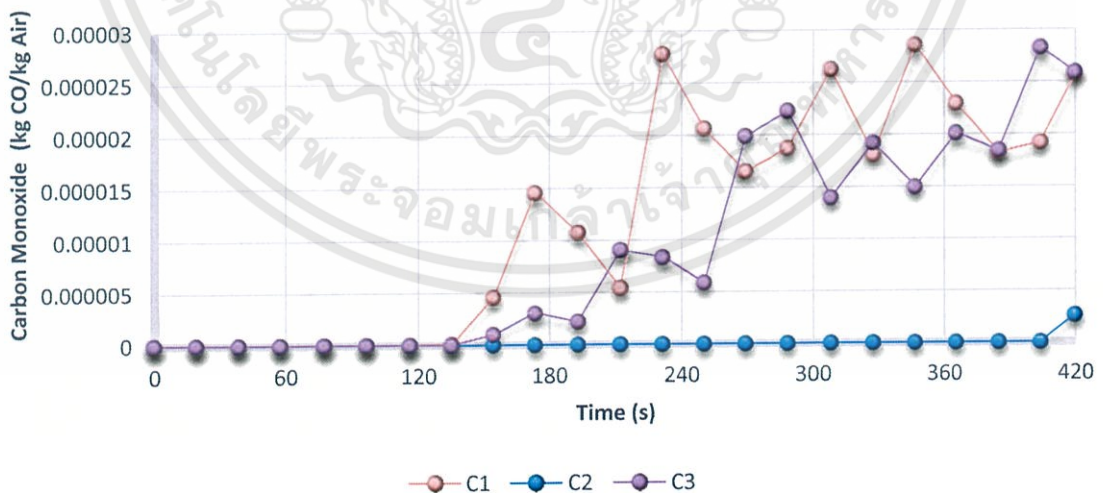
ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 3 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 16 ppm

## Carbon Monoxide at Commercial Level (Case 1: Fire at Lower Platform Level, Ventilation)



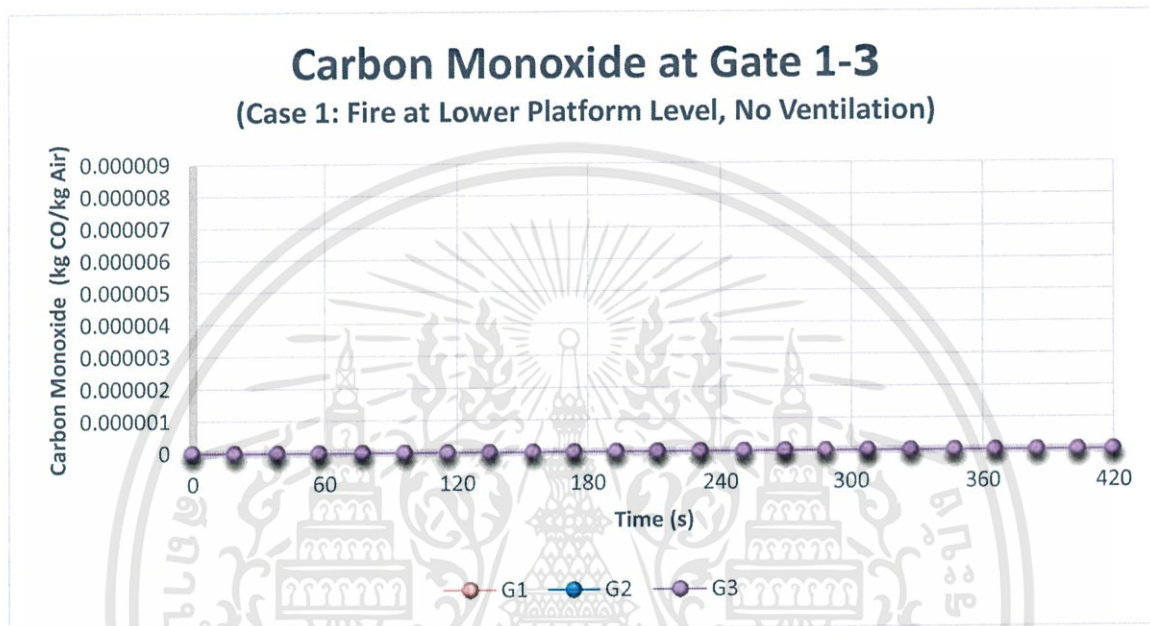
รูปที่ 4.37 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1

## Carbon Monoxide at Commercial Level (Case 2: Fire at Lower Platform Level, No Ventilation)

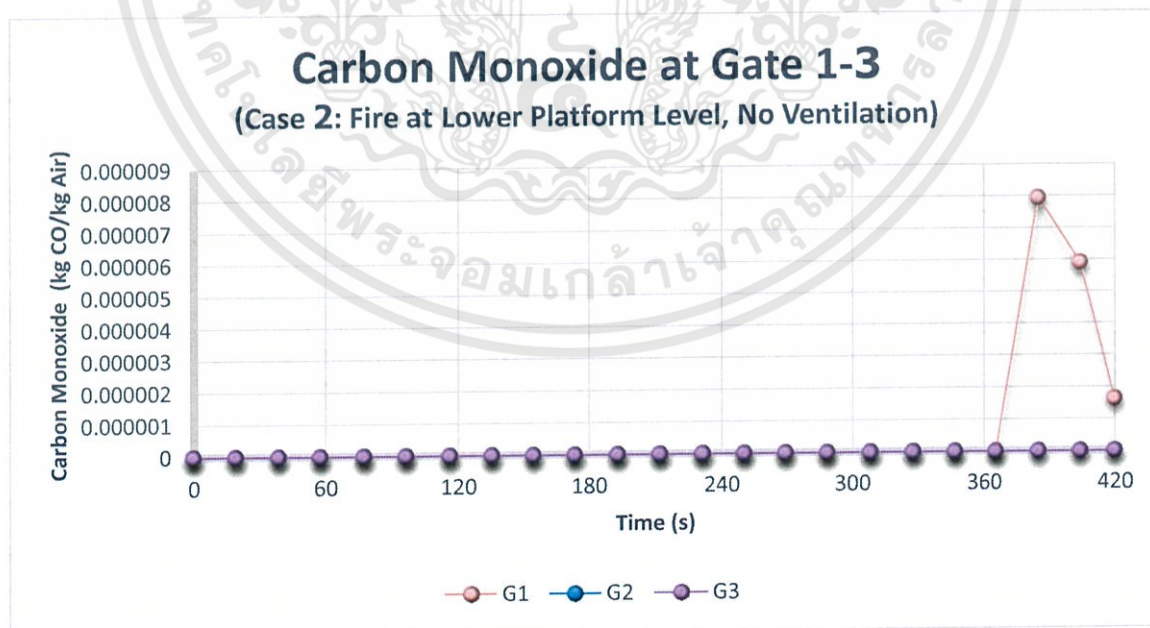


รูปที่ 4.38 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2

รูปที่ 4.39 ถึง 4.40 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับ G2-G3 แต่ G1 มีปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 5 ppm



รูปที่ 4.39 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.40 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2

ผลสรุปของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2)

ผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (ppm)							
	บริเวณชั้น Lower Platform						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	18	18	65	598	65	18	18
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	114	114	120	697	120	114	114
	บริเวณชั้น Upper Platform						
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	43	43	85	116	85	43	43
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	110	110	122	141	122	110	110
	บริเวณชั้น Concourse						
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	18*	18*	37*	15	37*	18*	18*
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	56**	56**	71**	83	71**	56**	56**
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
	C1	C2	C3	G1	G2	G3	
กรณีที่ 1 : มีระบบระบายอากาศ	3	0	3	0	0	0	
กรณีที่ 2 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	16***	0	16***	5	0	0	

\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไป / \*\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 120 วินาทีเป็นต้นไป / \*\*\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)						
บริเวณชั้น Lower Platform						
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
84.21	84.21	45.83	14.20	45.83	84.21	84.21
บริเวณชั้น Upper Platform						
U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
60.91	60.91	30.33	17.73	30.33	60.91	60.91
บริเวณชั้น Concourse						
CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
67.86	67.86	47.89	81.93	47.89	67.86	67.86
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
C1	C2	C3	G1	G2	G3	
81.25	-	81.25	100	-	-	

จากผลการทดลองพบว่าการติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณกองเพลิงได้ 14.20 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปอย่างต่ำ 23 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ 45.83-82.21 % ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้น Upper Platform ลงได้ 17.73-60.91 % ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้น Concourse ลงได้ 47.89-81.93 % ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้น Commercial ลงได้ 81.25 % บริเวณ Gate1 ลดลงได้ 100% และบริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (ตำแหน่ง G2) รวมทั้ง Gate 2-3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังคงเคลื่อนที่ไปไม่ถึงจุดที่กำหนด ทั้ง 2 กรณีภายในระยะเวลาทำการทดลอง 420 วินาที

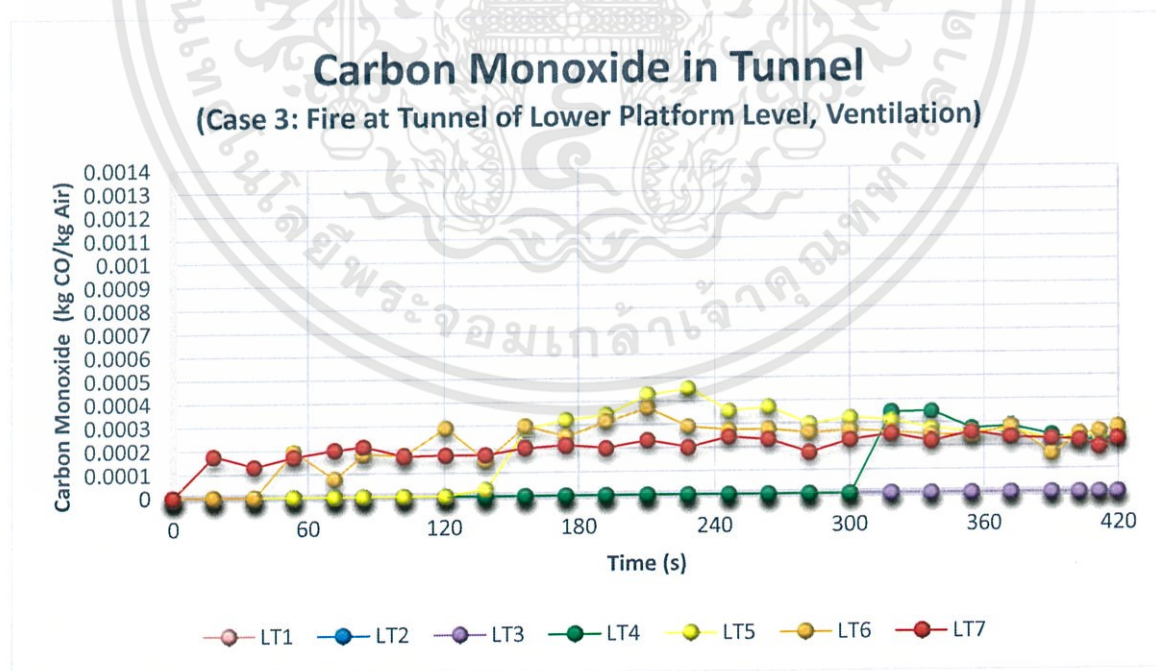
#### 4.3.2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.41 และ 4.42 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ LT7 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 199 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 526 ppm

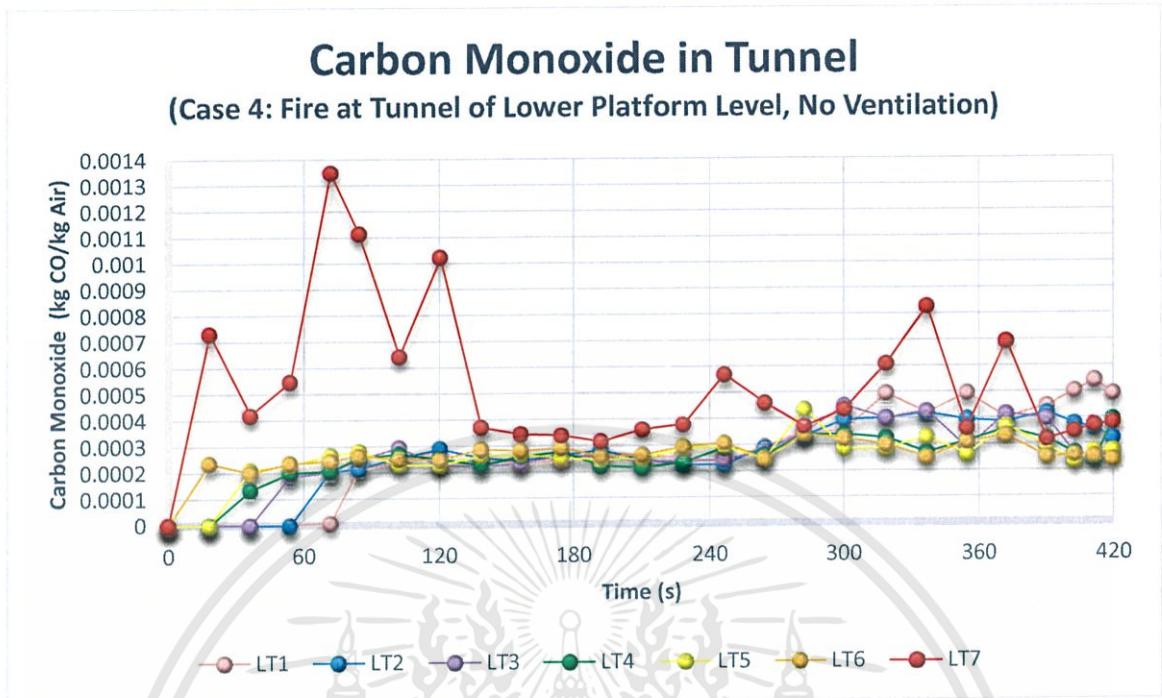
ตำแหน่ง LT6 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 217 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 259 ppm

ตำแหน่ง LT5 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 202 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 254 ppm

ตำแหน่ง LT4 LT3 LT2 และ LT1 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทางอย่างน้อย 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO ที่ตำแหน่ง LT4 เฉลี่ยเท่ากับ 84 ppm ตำแหน่ง LT3 LT2 และ LT1 เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 261 ppm



รูปที่ 4.41 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3

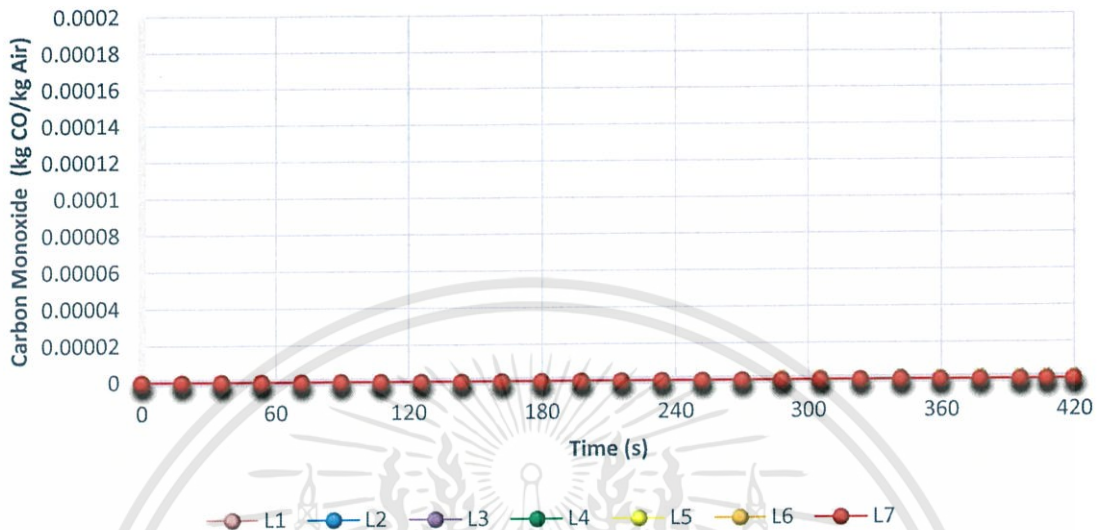


รูปที่ 4.42 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.43 และ 4.44 แสดงผลของอุณหภูมิภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้ใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L6 ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และเป็นบริเวณของ Platform Screen Door บานแรกที่คว้นไฟวิ่งถึงในทิศทางตรงข้ามกับพัดลมดูดอากาศ กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 23 ppm แต่ตำแหน่ง L2 ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform มีปริมาณ CO เฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดกรณีที่ไม่มีระบบระบายเท่ากับ 72 ppm

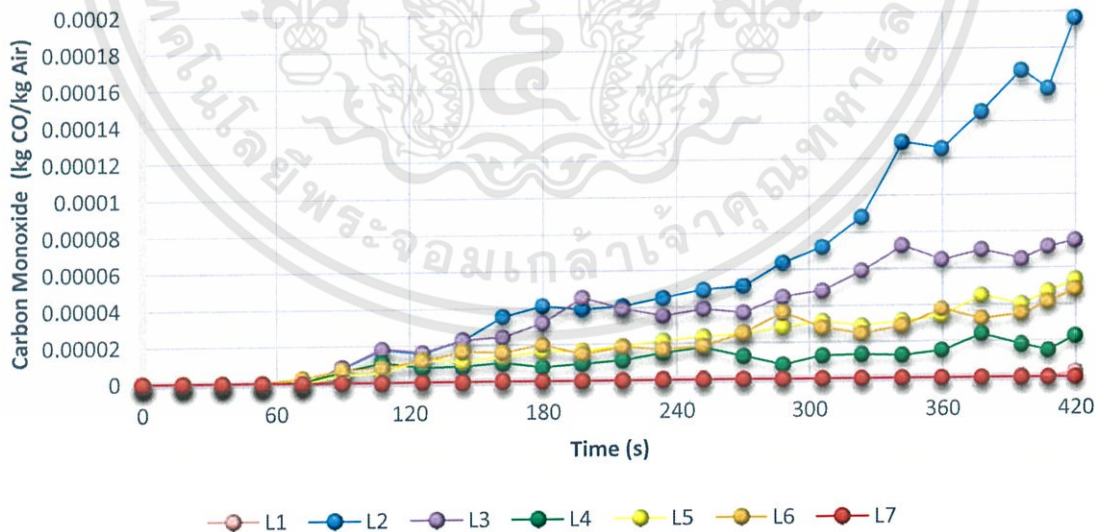
ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และตำแหน่งที่ L1 L4 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศ ตำแหน่ง L1 และ L7 ปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm ตำแหน่ง L3 ปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 42 ppm ตำแหน่ง L4 และ L5 ปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 18 ppm

### Carbon Monoxide at Lower Platform Level (Case 3: Fire at Tunnel of Lower Platform Level, Ventilation)



รูปที่ 4.43 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 3

### Carbon Monoxide at Lower Platform Level (Case 4: Fire at Tunnel of Lower Platform Level, No Ventilation)

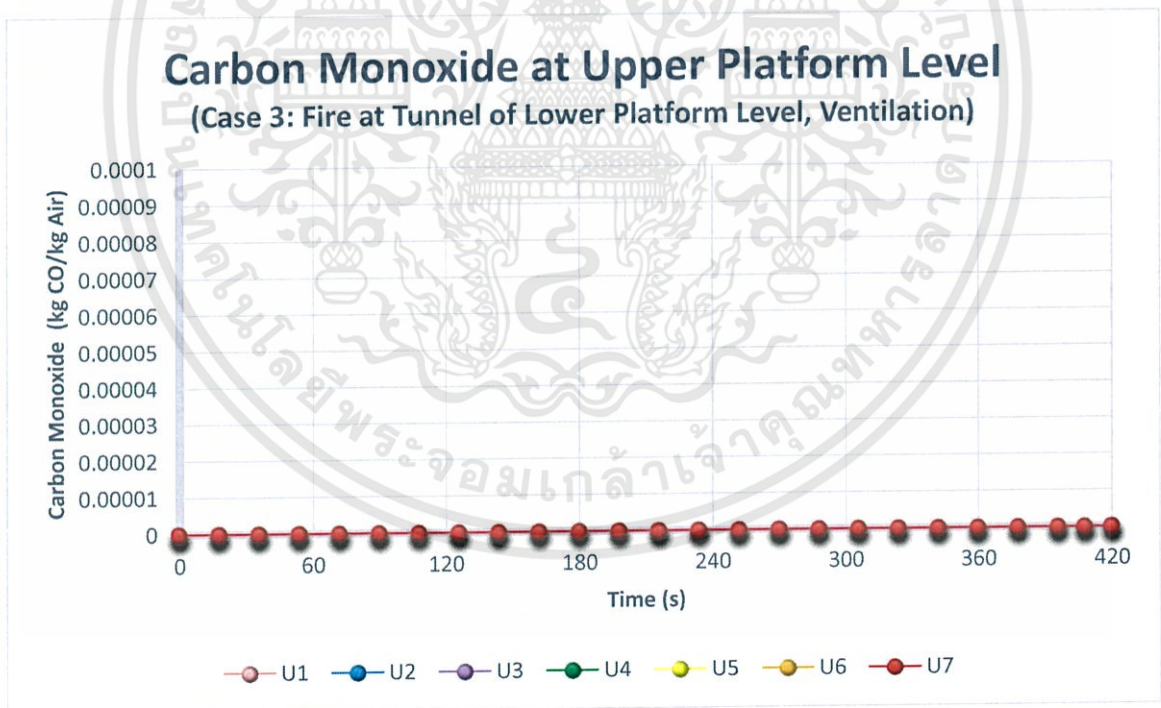


รูปที่ 4.44 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.45 และ 4.46 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U4 ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป เท่ากับ 11 ppm

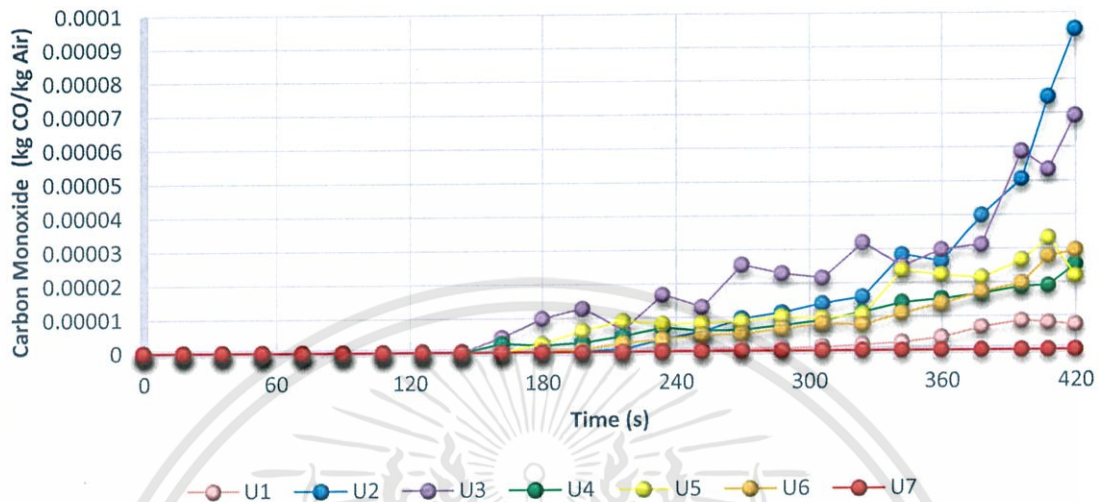
ตำแหน่งที่ U3 และ U5 เป็นพื้นที่ทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และยังเป็นบริเวณช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และชั้น Concourse อีกด้วย ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป เท่ากับ 22 ppm

ตำแหน่งที่ U1 U2 U6 และ U7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทางอย่างต่ำ 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเท่ากับ 18 ppm ที่ตำแหน่ง U2 และ U6 เท่ากับ 0 ppm ที่ตำแหน่ง U1 และ U7



รูปที่ 4.45 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 3

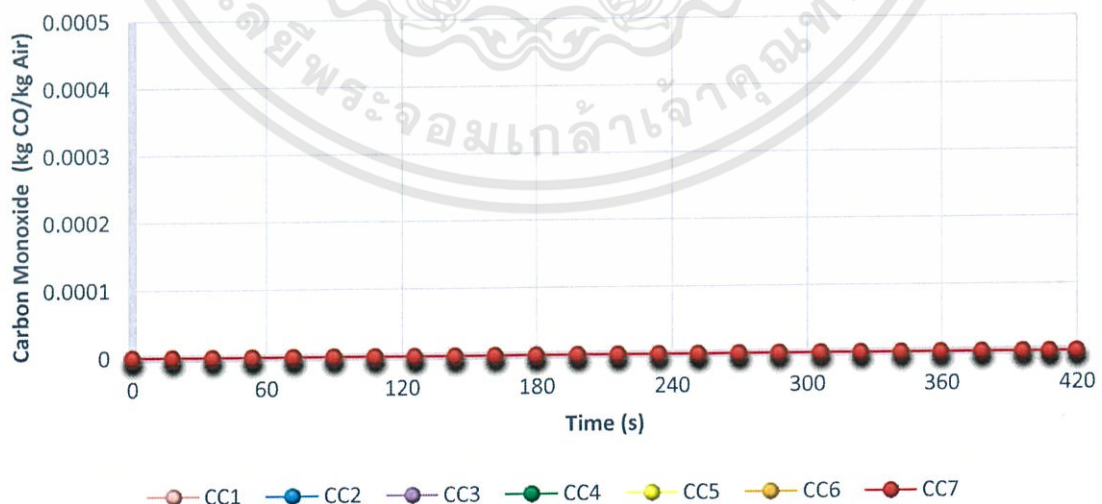
## Carbon Monoxide at Upper Platform Level (Case 4: Fire at Tunnel of Lower Platform Level, No Ventilation)



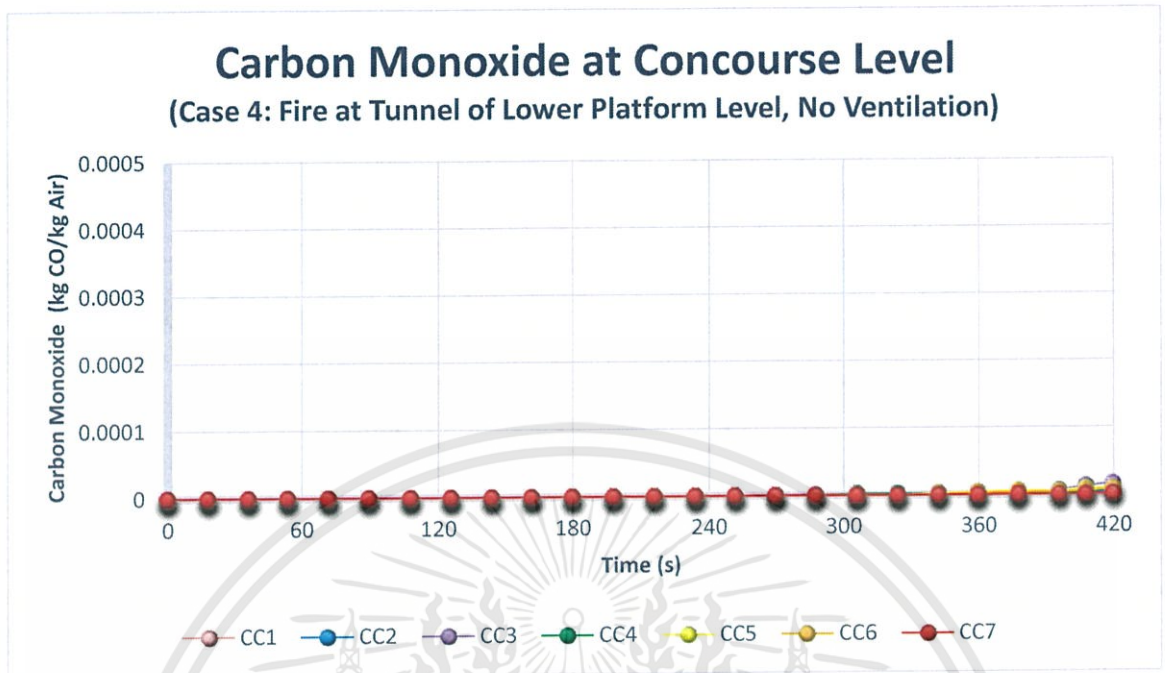
รูปที่ 4.46 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.47 และ 4.48 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC1-CC7 มีปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ ดังนั้นแสดงว่าบริเวณชั้น Commercial และบริเวณ Gate 1-3 คิวไฟยังเคลื่อนที่ไม่ไปถึงและมีปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm

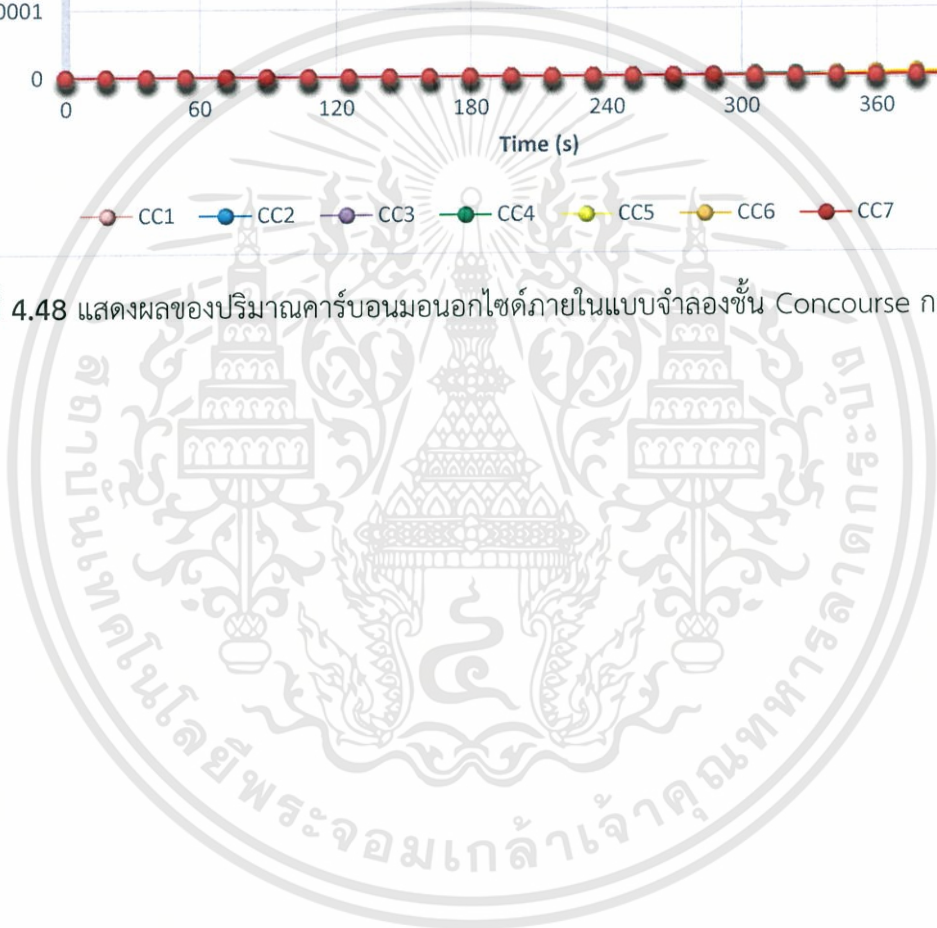
## Carbon Monoxide at Concourse Level (Case 3: Fire at Tunnel of Lower Platform Level, Ventilation)



รูปที่ 4.47 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 3



รูปที่ 4.48 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 4



ผลสรุปของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4)

ผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (ppm)							
	ภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform						
	LT1	LT2	LT3	LT4	LT5	LT6	LT7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	84	202	217	199
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	261	261	261	261	252	259	526
	บริเวณชั้น Lower Platform						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	0
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	0	72	42	18	18	23	0
	บริเวณชั้น Upper Platform						
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	0
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	0*	18*	22*	11*	22*	18*	0*
	บริเวณชั้น Concourse						
	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	0
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	0
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
	C1	C2	C3	G1	G2	G3	
กรณีที่ 3 : มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	
กรณีที่ 4 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	0	0	0	0	0	0	

\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 180 วินาทีเป็นต้นไป

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4)

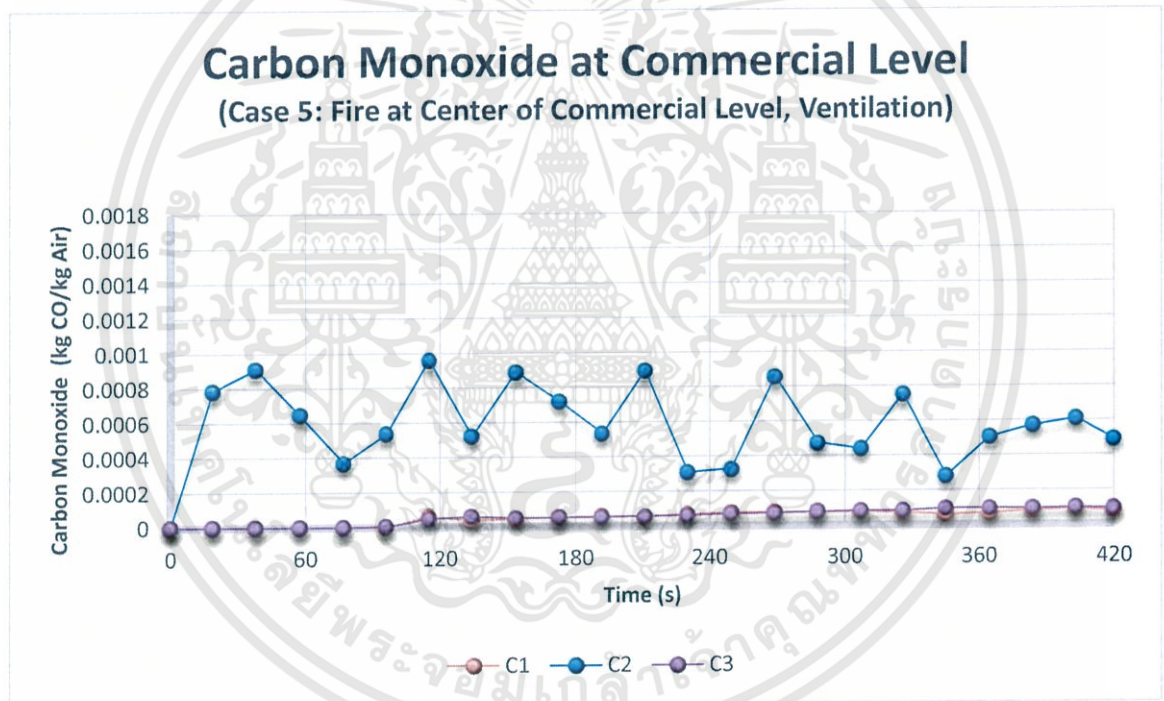
ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)						
ภายในโถงคอกของชั้น Lower Platform						
LT1	LT2	LT3	LT4	LT5	LT6	LT7
100	100	100	67.82	19.84	16.22	62.17
บริเวณชั้น Lower Platform						
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
-	100	100	100	100	100	-
บริเวณชั้น Upper Platform						
U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
-	100	100	100	100	100	-
บริเวณชั้น Concourse						
CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7
-	-	-	-	-	-	-
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3			
C1	C2	C3	G1	G2	G3	
-	-	-	-	-	-	

จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณคอกเพลิงได้ 62.17 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปอย่างต่ำ 23 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งอื่นๆ ภายในโถงคอกสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ 16.22-100 % ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณชั้น Lower Platform และชั้น Upper Platform ลงได้ 100 % บริเวณอื่นๆ ผลจากการติดตั้งระบบระบายอากาศไม่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในระยะเวลาทำการทดลอง 420 วินาที

#### 4.3.3 กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

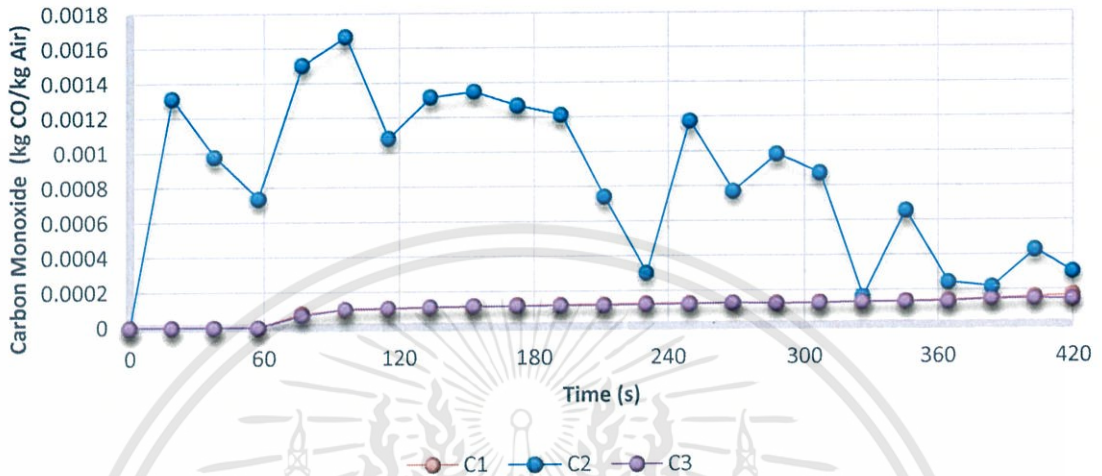
รูปที่ 4.49 และ 4.50 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 582 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 839 ppm

ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 52 ppm สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 102 ppm



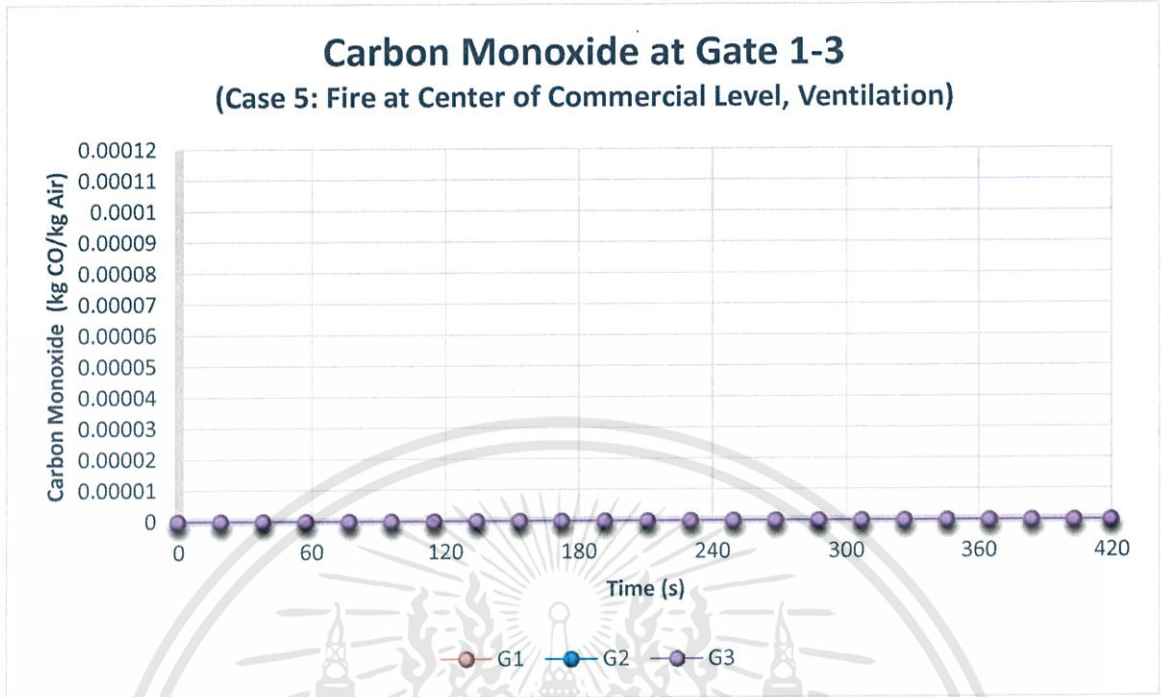
รูปที่ 4.49 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5

## Carbon Monoxide at Commercial Level (Case 6: Fire at Center of Commercial Level, No Ventilation)

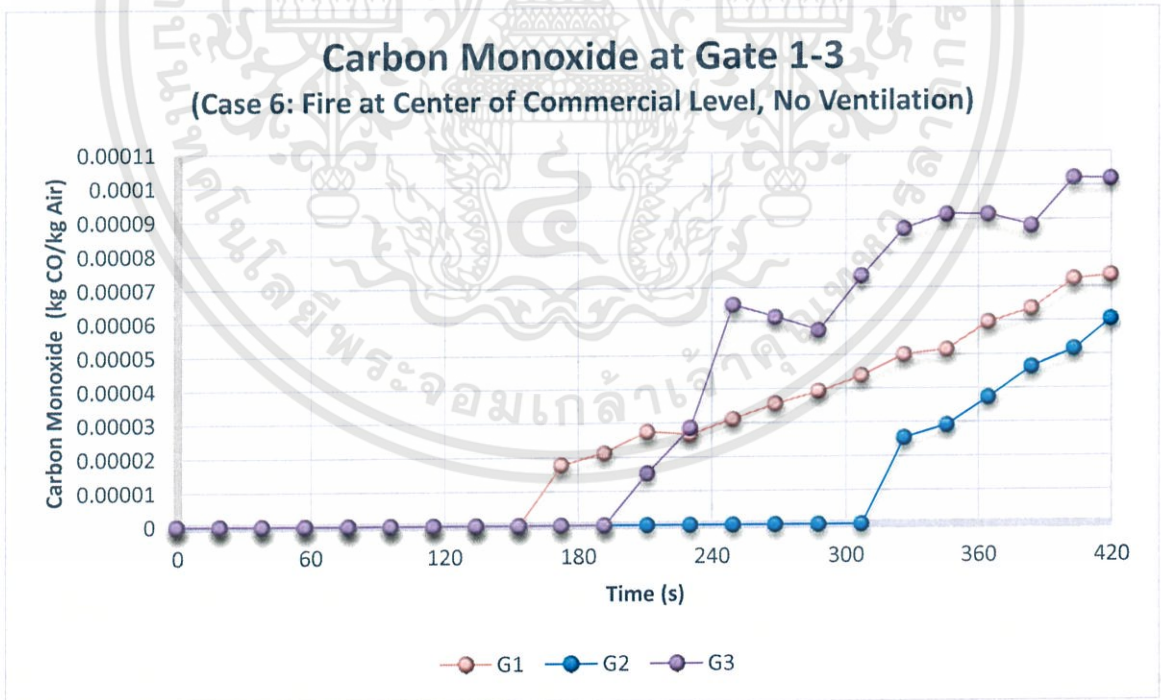


รูปที่ 4.50 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6

รูปที่ 4.51 และ 4.52 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเท่ากับ 0 ppm กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศปริมาณ CO เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไปเท่ากับ 50 ppm



รูปที่ 4.51 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5



รูปที่ 4.52 แสดงผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6

ผลสรุปของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สำหรับกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6)

ผลของปริมาณ CO ภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (ppm)						
	บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3		
	C1	C2	C3	G1	G2	G3
กรณีที่ 5 : มีระบบระบายอากาศ	52	582	52	0	0	0
กรณีที่ 6 : ไม่มีระบบระบายอากาศ	102	839	102	50*	50*	50*

\*เฉลี่ยเมื่อเวลา 240 วินาทีเป็นต้นไป

จากผลการทดลองสามารถคำนวณประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศได้จากสมการ (4.1)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศจากการทดลองในกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศ (กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6)

ประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ (%)					
บริเวณชั้น Commercial			บริเวณทางออก Gate 1-3		
C1	C2	C3	G1	G2	G3
49.02	30.63	49.02	100	100	100

จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณกองเพลิงได้ 30.63 % บริเวณที่อยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ 49.02 % และบริเวณ Gate1-3 สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ 100 % เนื่องจากควันยังคงเคลื่อนที่ไม่ถึงบริเวณนี้หลังจากติดตั้งระบบระบายอากาศ ภายในระยะเวลาทำการทดลอง 420 วินาที

#### 4.4 ผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

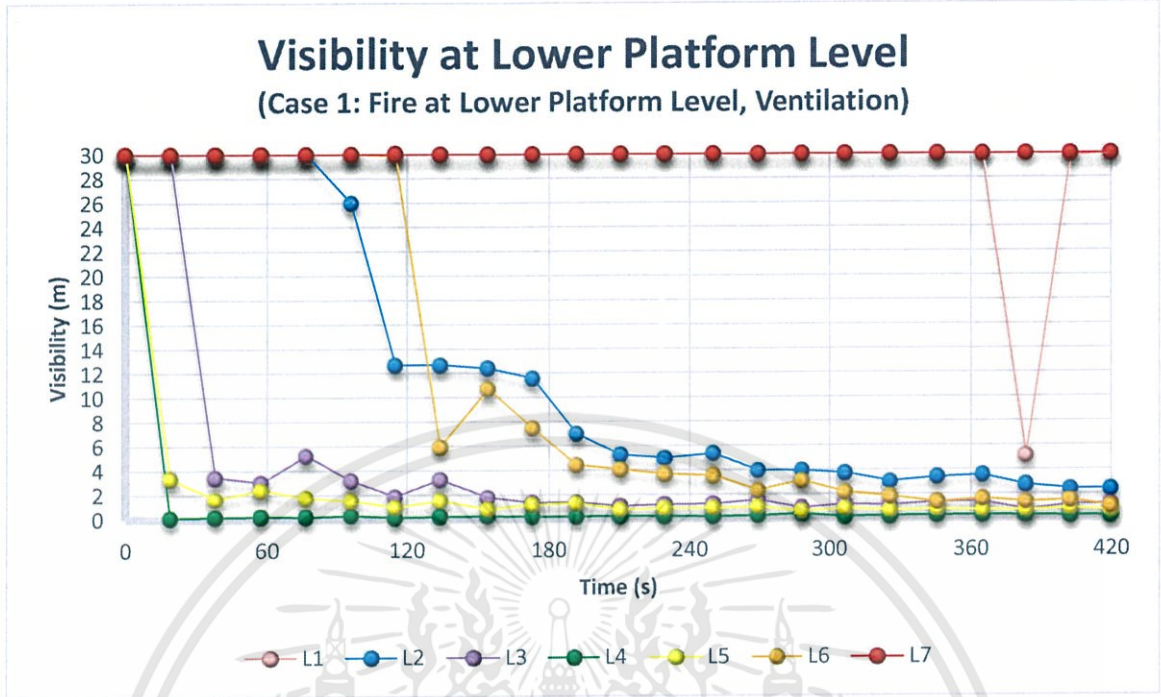
##### 4.4.1 กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.53 และ 4.54 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L4 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 20 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

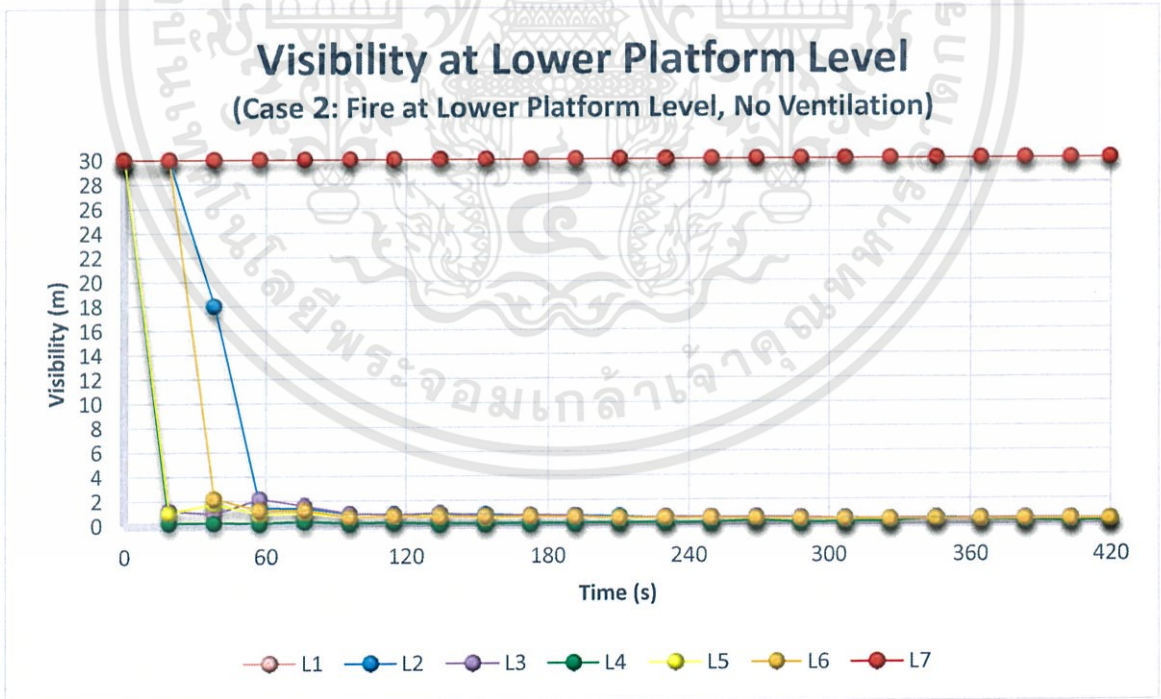
ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 2 เมตร ภายในระยะเวลา 120 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 20 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 2 เมตร ออกไป 100 วินาที

ตำแหน่งที่ L2 และ L6 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตร ภายในระยะเวลา 210 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 2 เมตร ภายในระยะเวลา 60 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 2-5 เมตร ออกไป 150 วินาที

ตำแหน่งที่ L1 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 m ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ



รูปที่ 4.53 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 1



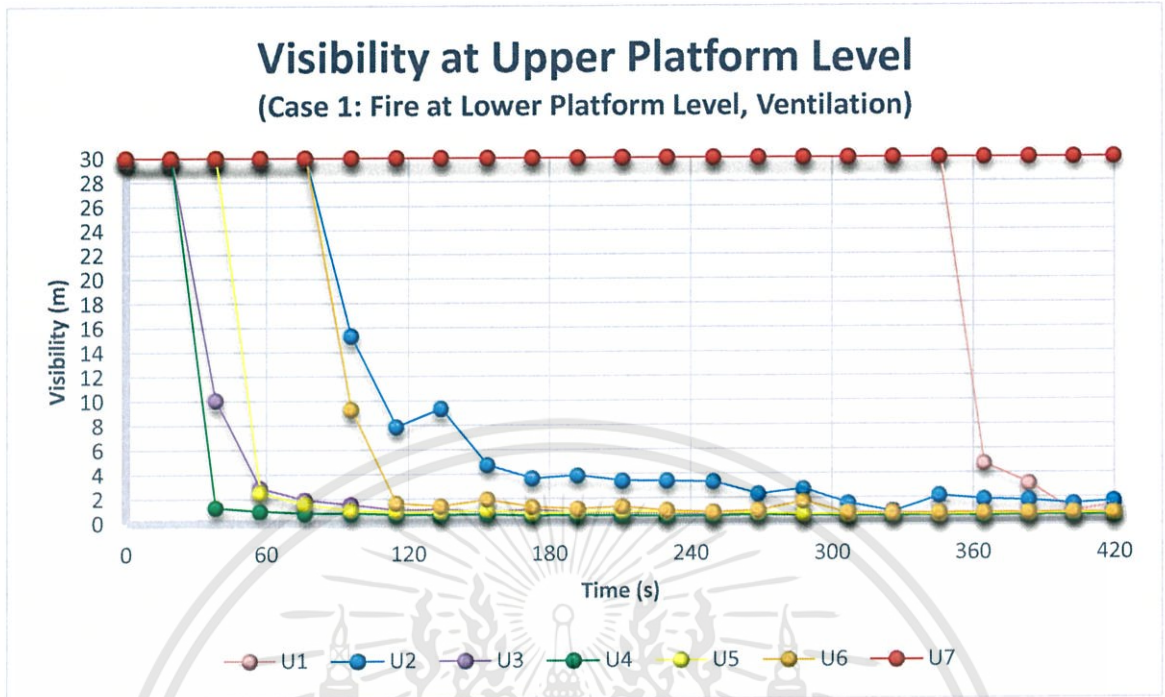
รูปที่ 4.54 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Lower Platform กรณีที่ 2

รูปที่ 4.55 และ 4.56 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกับกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform) มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 40 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

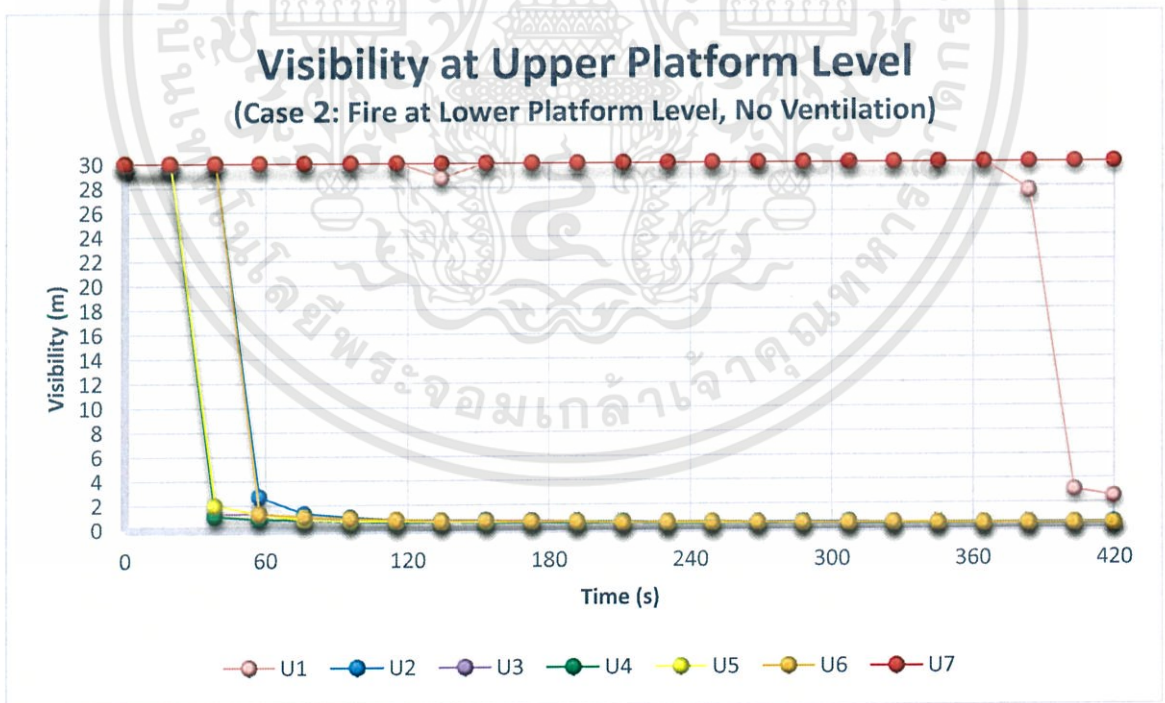
ตำแหน่งที่ U3 และ U5 เป็นพื้นที่ทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และยังเป็นบริเวณช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และชั้น Concourse อีกด้วย ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 2 เมตร ภายในระยะเวลา 60 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 40 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ U2 และ U6 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0-4 เมตร ภายในระยะเวลา 180 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 2 เมตร ภายในระยะเวลา 60 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 2-4 เมตร ออกไป 120 วินาที

ตำแหน่งที่ U1 และ U7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ภายในระยะเวลา 360 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ภายในระยะเวลา 380 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้



รูปที่ 4.55 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 1



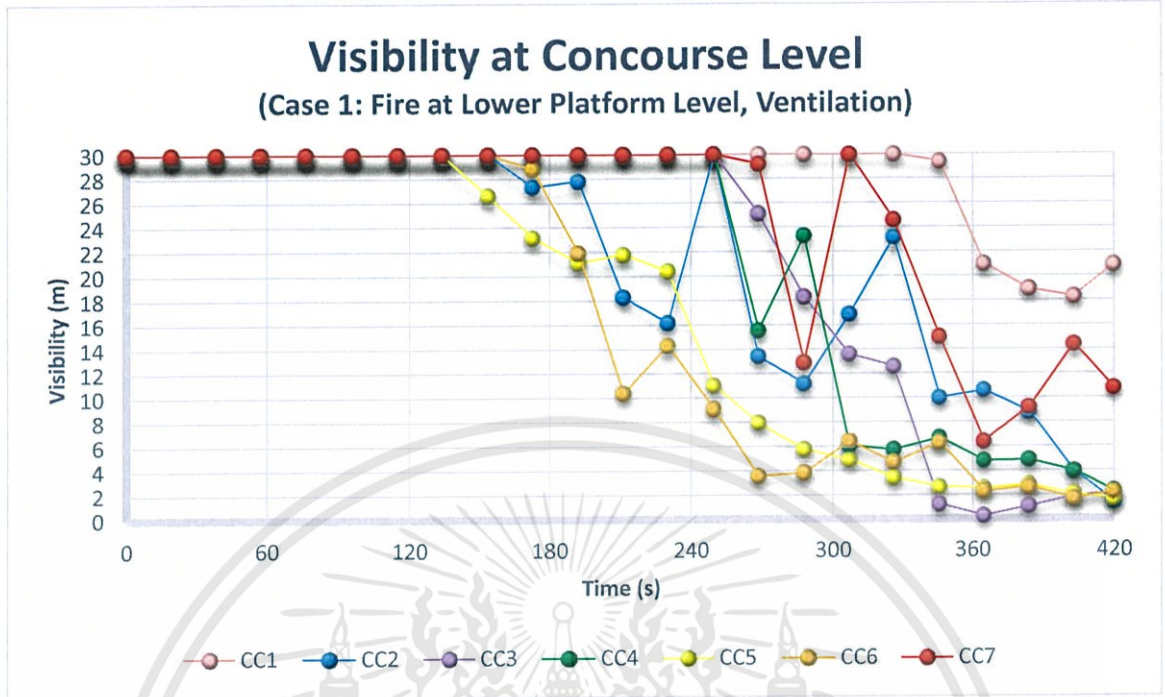
รูปที่ 4.56 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Upper Platform กรณีที่ 2

รูปที่ 4.57 และ 4.58 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC4 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกับกองเพลิง ที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และ Concourse) กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6 เมตร ภายในระยะเวลา 320 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 4 เมตร ภายในระยะเวลา 120 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ ระยะ มากกว่า 4-6 เมตร ออกไป 200 วินาที

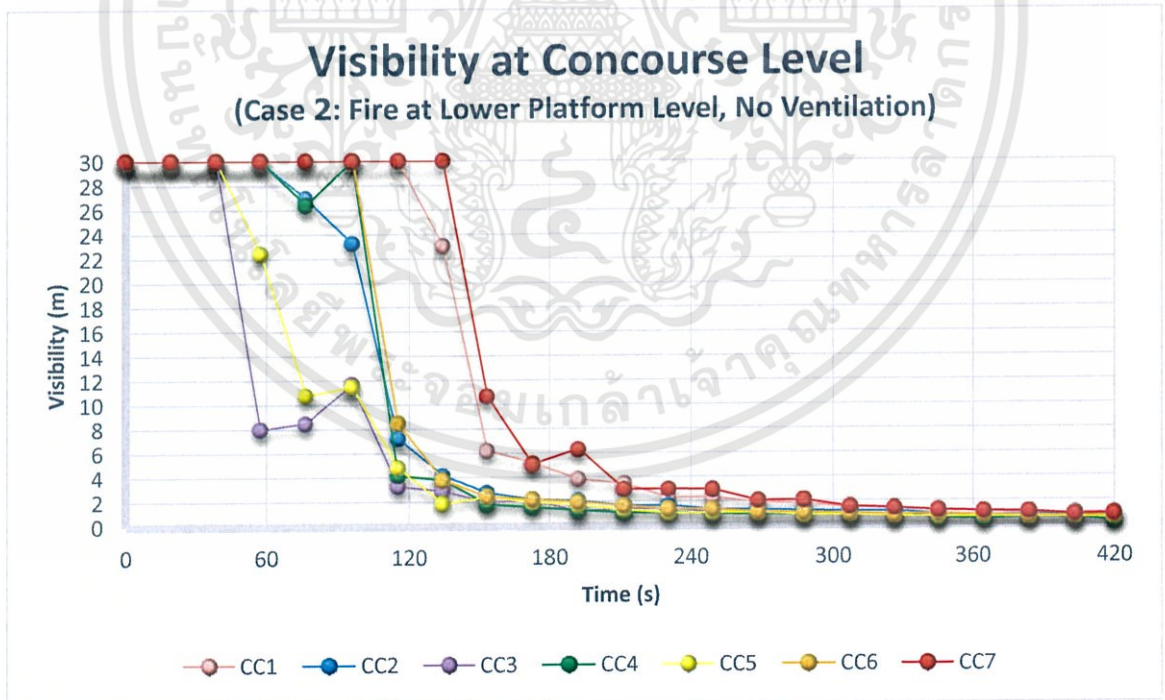
ตำแหน่งที่ CC3 และ CC5 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 เป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6-13 เมตร ภายในระยะเวลา 300 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 8-10 เมตร ภายในระยะเวลา 60 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 8-10 เมตร ออกไป 240 วินาที

ตำแหน่งที่ CC2 และ CC6 เป็นบริเวณทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 ออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศ มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตร ภายในระยะเวลา 360 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 8 เมตร ภายในระยะเวลา 120 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 8-10 เมตร ออกไป 240 วินาที

ตำแหน่งที่ CC1 และ CC7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6-20 เมตร ภายในระยะเวลา 360 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6-10 เมตร ภายในระยะเวลา 150 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 6-10 เมตร ออกไป 210 วินาที



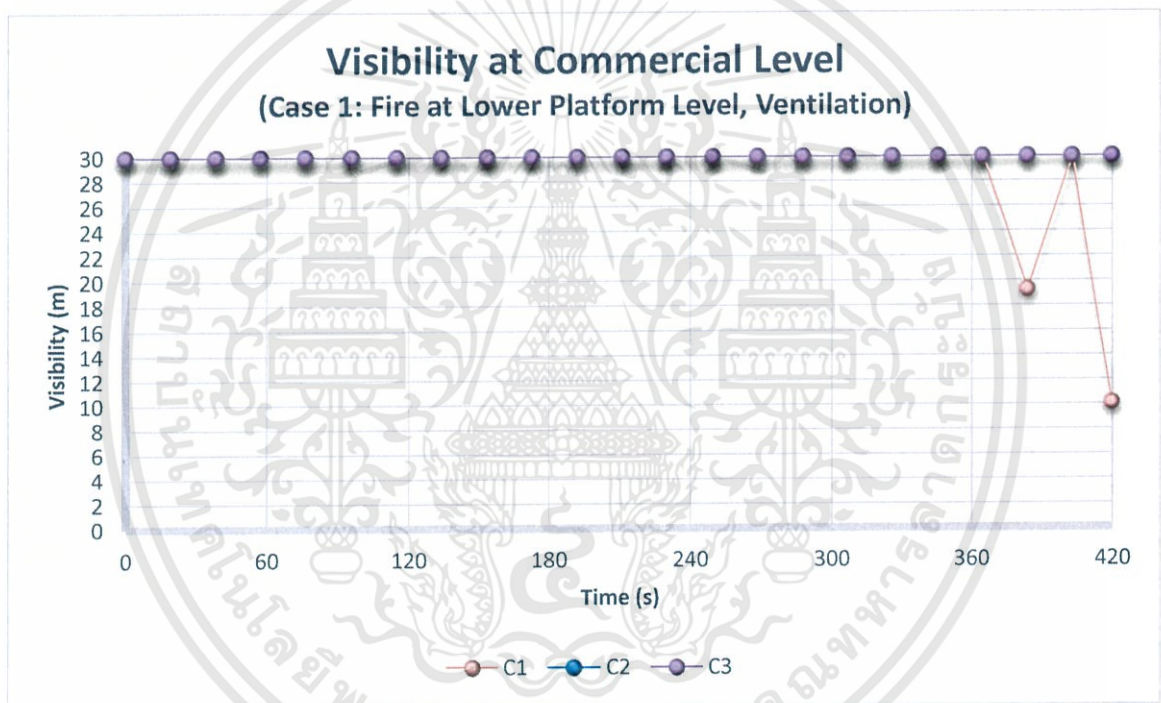
รูปที่ 4.57 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 1



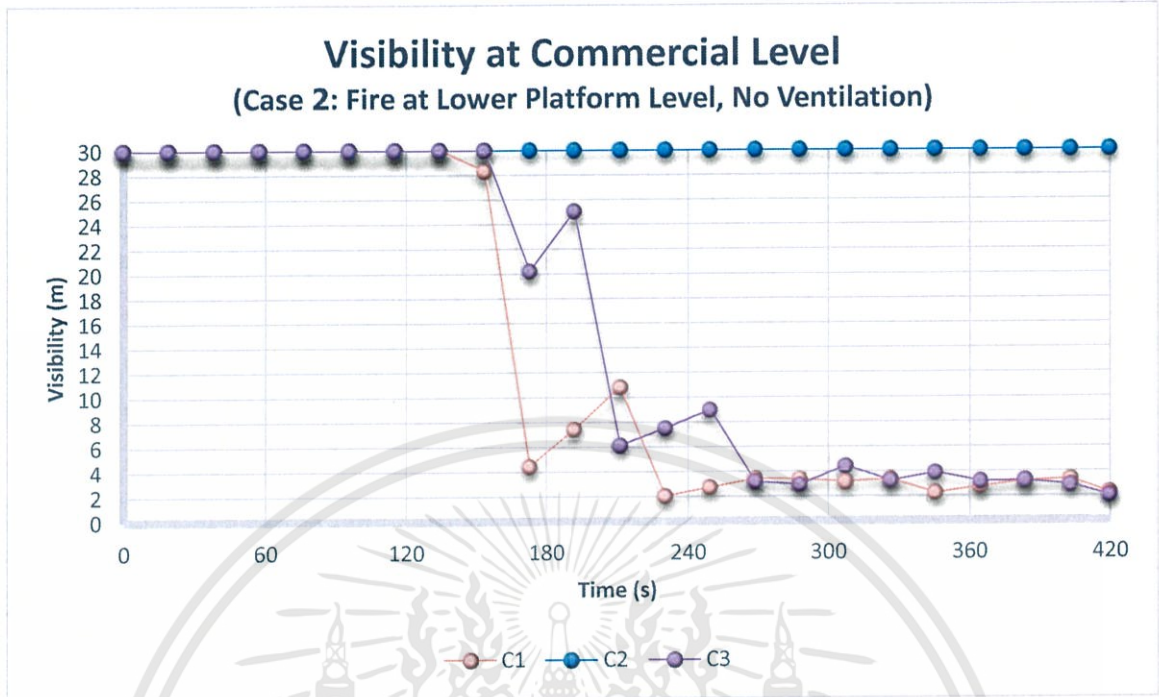
รูปที่ 4.58 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Concourse กรณีที่ 2

รูปที่ 4.59 และ 4.60 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตร ภายในระยะเวลา 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6-10 เมตร ภายในระยะเวลา 210 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 6-10 เมตร ออกไป 210 วินาที

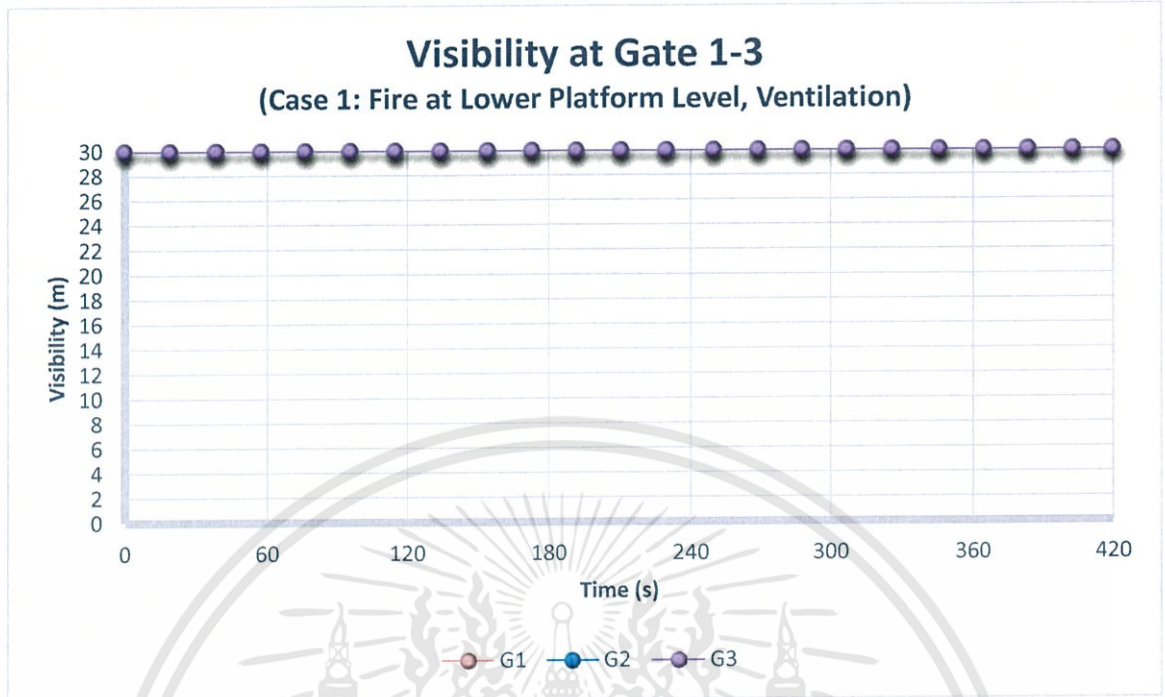


รูปที่ 4.59 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 1

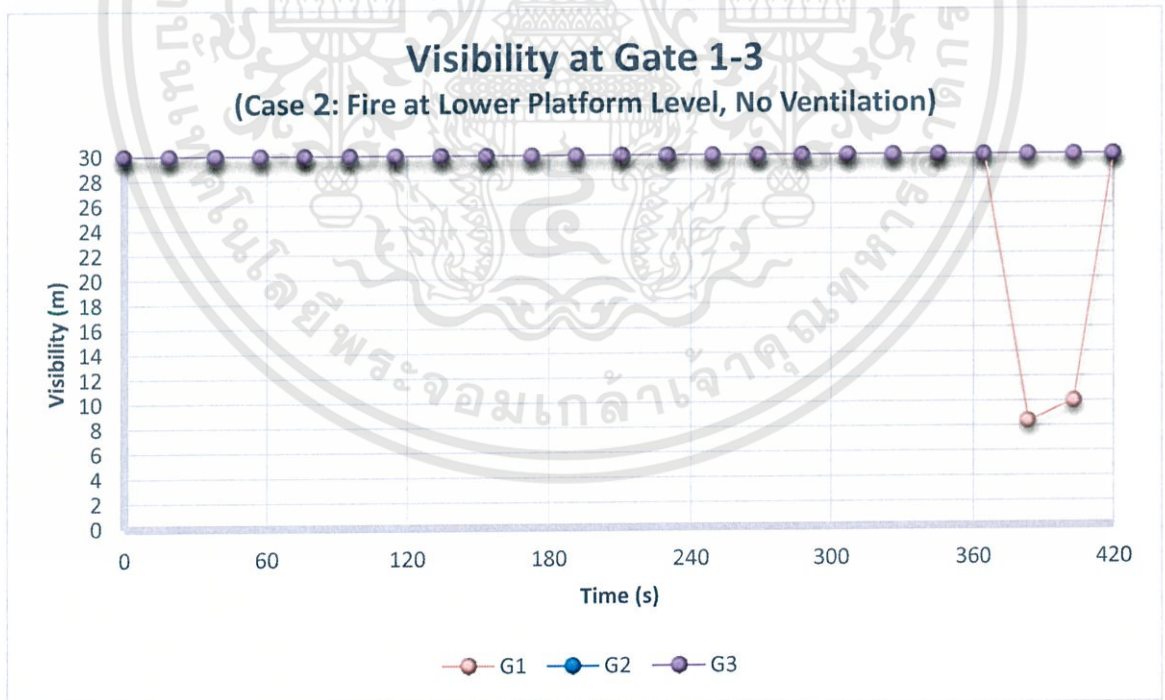


รูปที่ 4.60 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 2

รูปที่ 4.61 และ 4.62 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ เท่ากับ 30 เมตร สำหรับ Gate 2-3 แต่ Gate 1 มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 8 เมตร ภายในระยะเวลา 380 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้



รูปที่ 4.61 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.62 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 2

พบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศ บริเวณเส้นทางที่ใช้ทำการอพยพ เช่น ทางเดิน บันได และ บันไดเลื่อน ที่ชั้น Lower Platform สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 2 เมตร ออกไป เป็นระยะเวลา 100 วินาทีเป็นอย่างต่ำ ที่ชั้น Upper Platform สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ ระยะมากกว่า 2-4 เมตร ออกไป 120 วินาทีเป็นอย่างต่ำ ที่ชั้น Concourse สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 4-6 เมตร ออกไป 200 วินาทีเป็นอย่างต่ำ ที่ชั้น commercial สามารถยื่น ระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 6-10 เมตร ออกไป 210 วินาทีเป็นอย่างต่ำ ที่ Gate1 สามารถ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 8 เมตร ออกไป 40 วินาทีเป็นอย่างต่ำ สำหรับ Gate 2-3 ผล จากการติดตั้งระบบระบายอากาศไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยการมองเห็น ภายในระยะเวลาทำ การทดลอง 420 วินาที

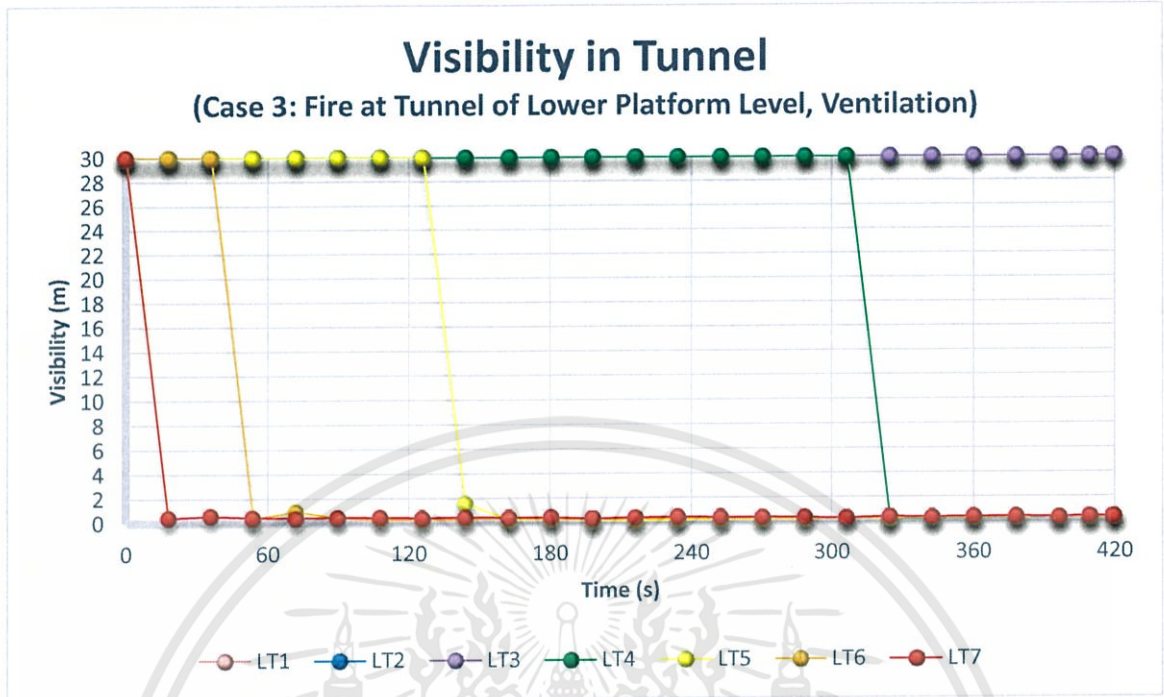
#### 4.4.2 กรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณอุโมงค์ชั้น Lower Platform (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

รูปที่ 4.63 และ 4.64 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ LT7 ซึ่งเป็นบริเวณกองเพลิง มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 15 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ สำหรับกรณีทั้งที่มี และไม่มีระบบระบายอากาศ

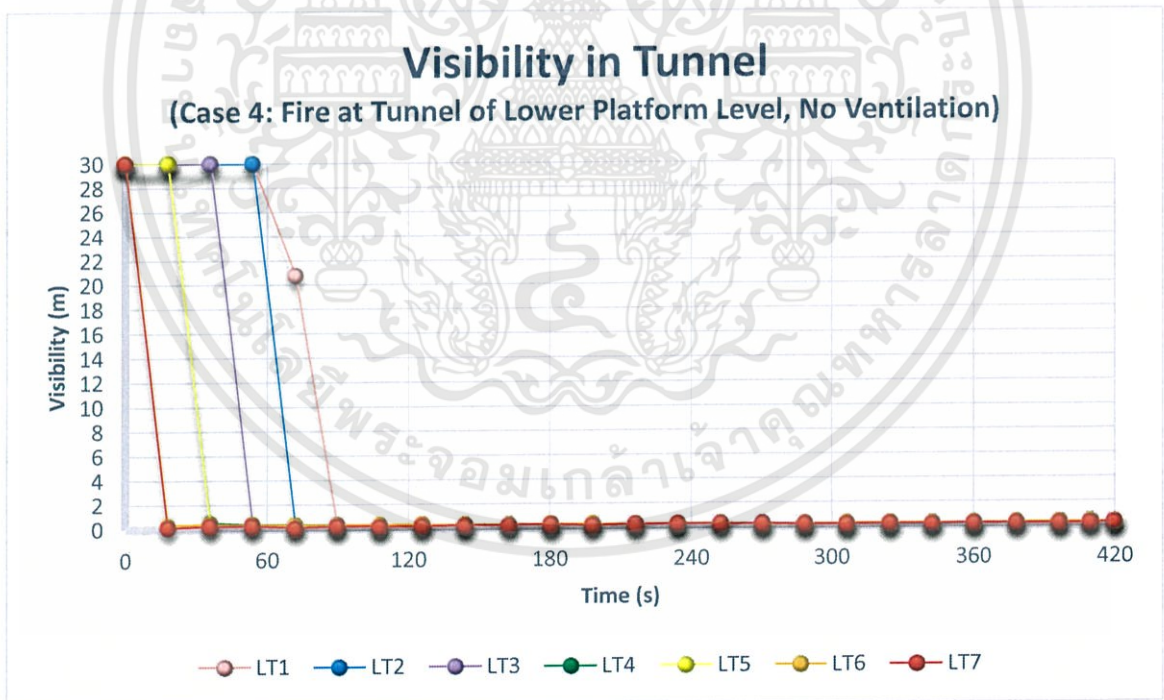
ตำแหน่ง LT6 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มี ระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 60 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 15 วินาที หลัง เกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะ 30 เมตร ออกไป 45 วินาที

ตำแหน่ง LT5 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มี ระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 140 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิง ไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 30 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะ 30 เมตร ออกไป 110 วินาที

ตำแหน่ง LT4 LT3 LT2 และ LT1 เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็น ระยะทางอย่างน้อย 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศตำแหน่ง LT4 การมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 320 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ตำแหน่ง LT3 LT2 และ LT1 การมองเห็นเฉลี่ย เท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที สำหรับกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศการ มองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลาเฉลี่ย 60 วินาที



รูปที่ 4.63 แสดงผลทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 3

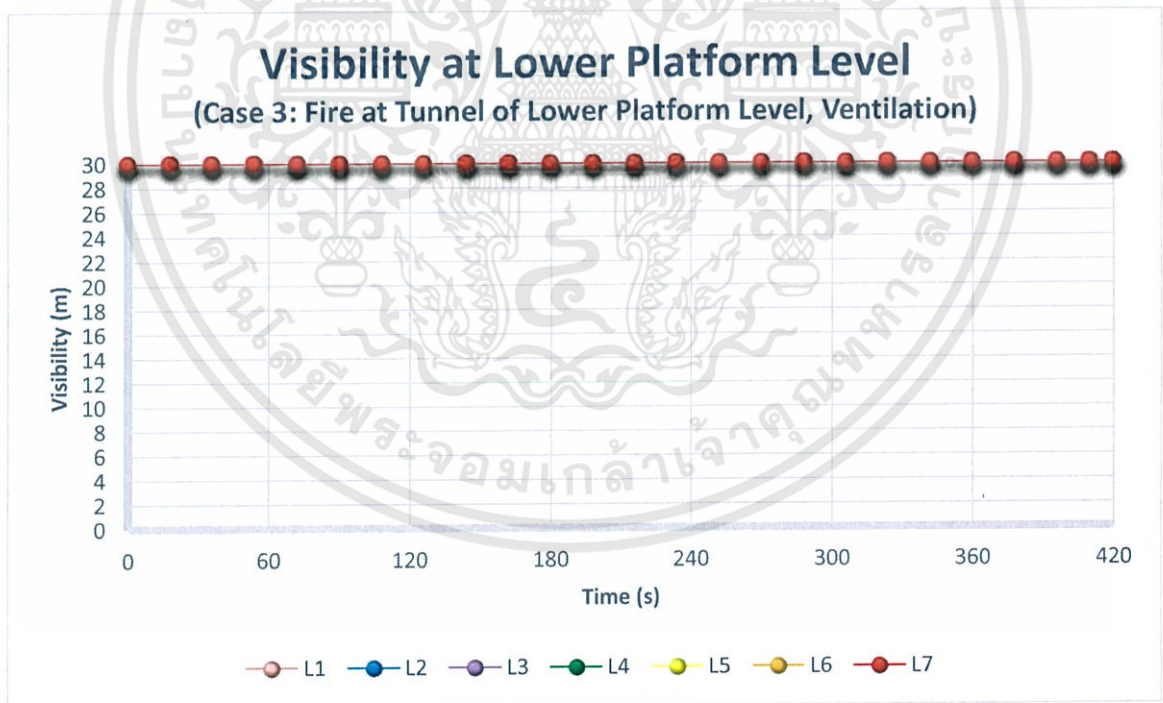


รูปที่ 4.64 แสดงผลทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองอุโมงค์ของชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

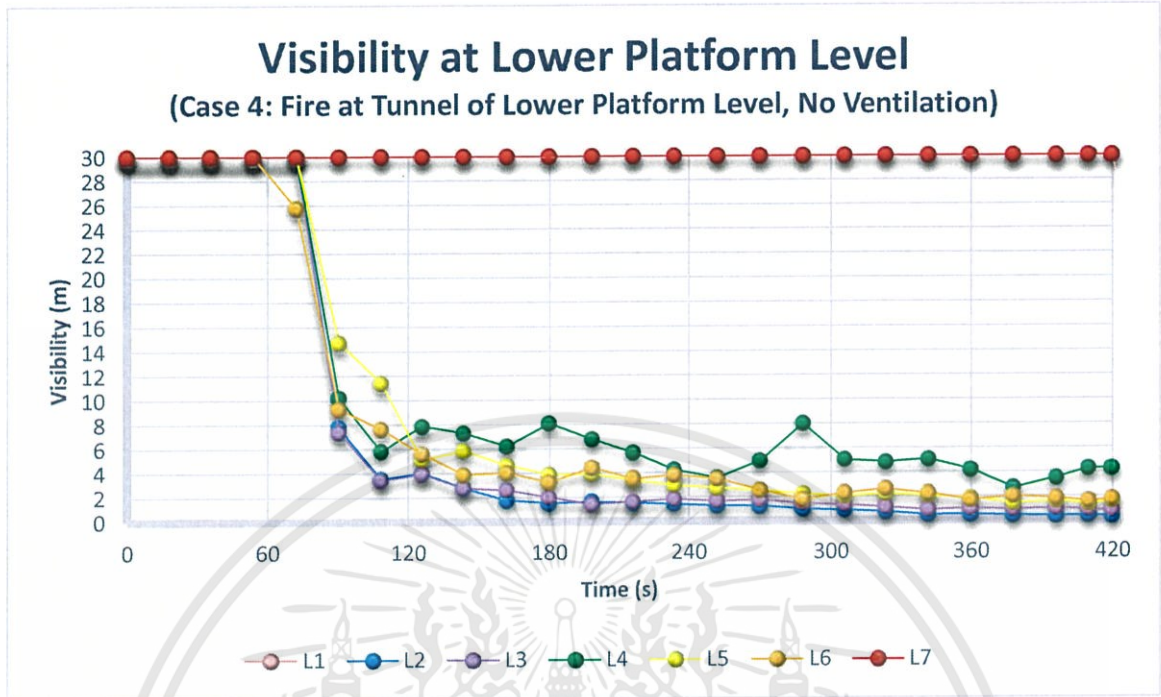
รูปที่ 4.65 และ 4.66 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Lower Platform ตำแหน่งที่ L6 ซึ่งเป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และเป็นบริเวณของ Platform Screen Door บานแรกที่ควีนไฟวิ่งถึงในทิศทางตรงข้ามกับพัดลมดูดอากาศ กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6 เมตร ภายในระยะเวลา 120 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ L3 และ L5 เป็นตำแหน่งของบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากบริเวณกองเพลิงออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร ตำแหน่งที่ L2 และ L6 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 4-8 เมตร ภายในระยะเวลา 120 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ L1 และ L7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 m ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ



รูปที่ 4.65 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Lower Platform กรณีที่ 3



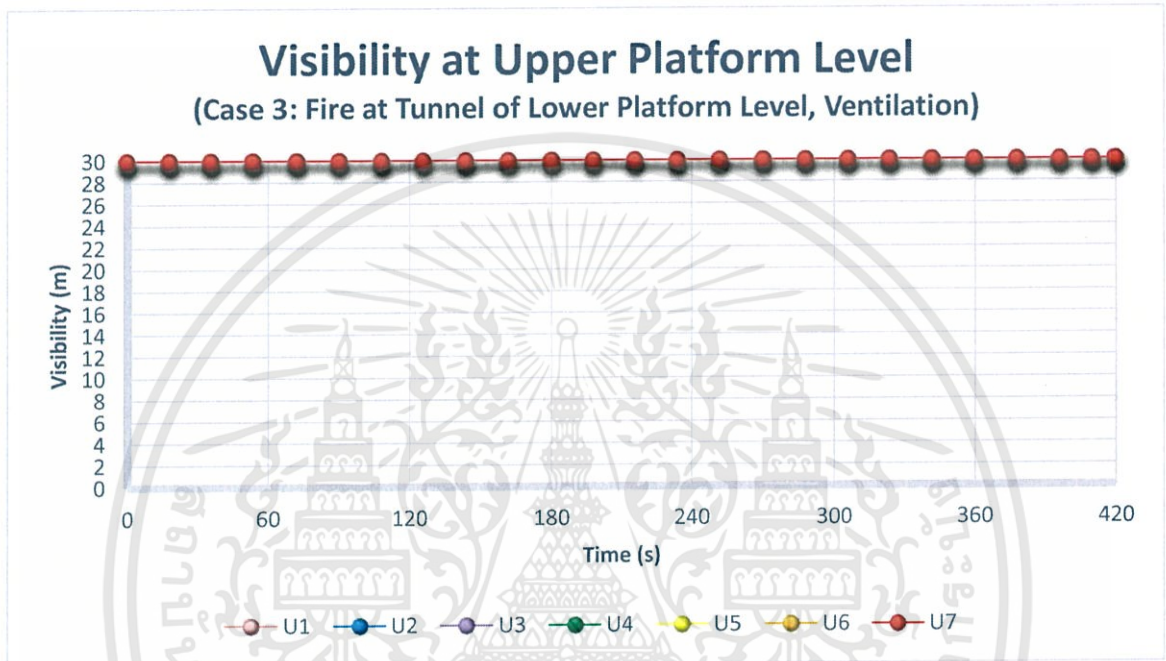
รูปที่ 4.66 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Lower Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.67 และ 4.68 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Upper Platform ตำแหน่งที่ U4 ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดที่เชื่อมระหว่างชั้น Upper Platform และ Lower Platform กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 8 เมตร ภายในระยะเวลา 240 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

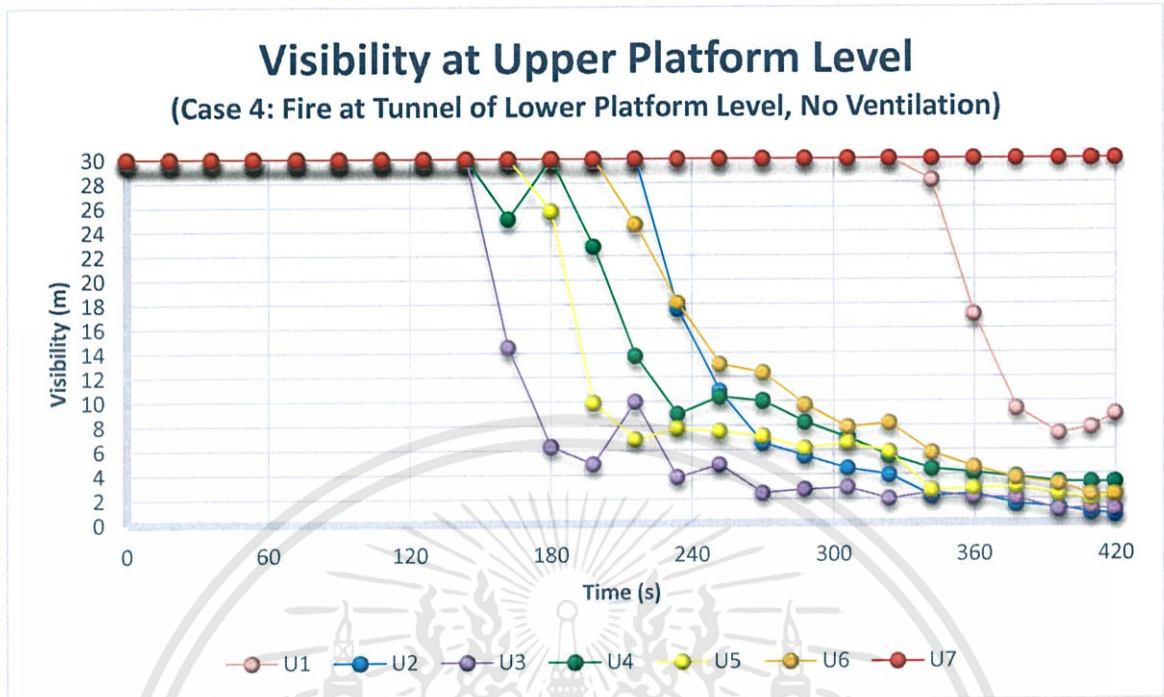
ตำแหน่งที่ U3 และ U5 เป็นพื้นทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และยังเป็นบริเวณช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และชั้น Concourse อีกด้วย ตำแหน่งดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 4-8 เมตร ภายในระยะเวลา 240 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ U2 และ U6 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 4-8 เมตร ภายในระยะเวลา 300 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ U1 และ U7 เป็นตำแหน่งของบันไดที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 8 เมตร ภายในระยะเวลา 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้สำหรับตำแหน่ง U1 แต่ตำแหน่ง U7 ให้ผลเดียวกับกรณีที่มีระบบระบายอากาศ



รูปที่ 4.67 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Upper Platform กรณีที่ 3



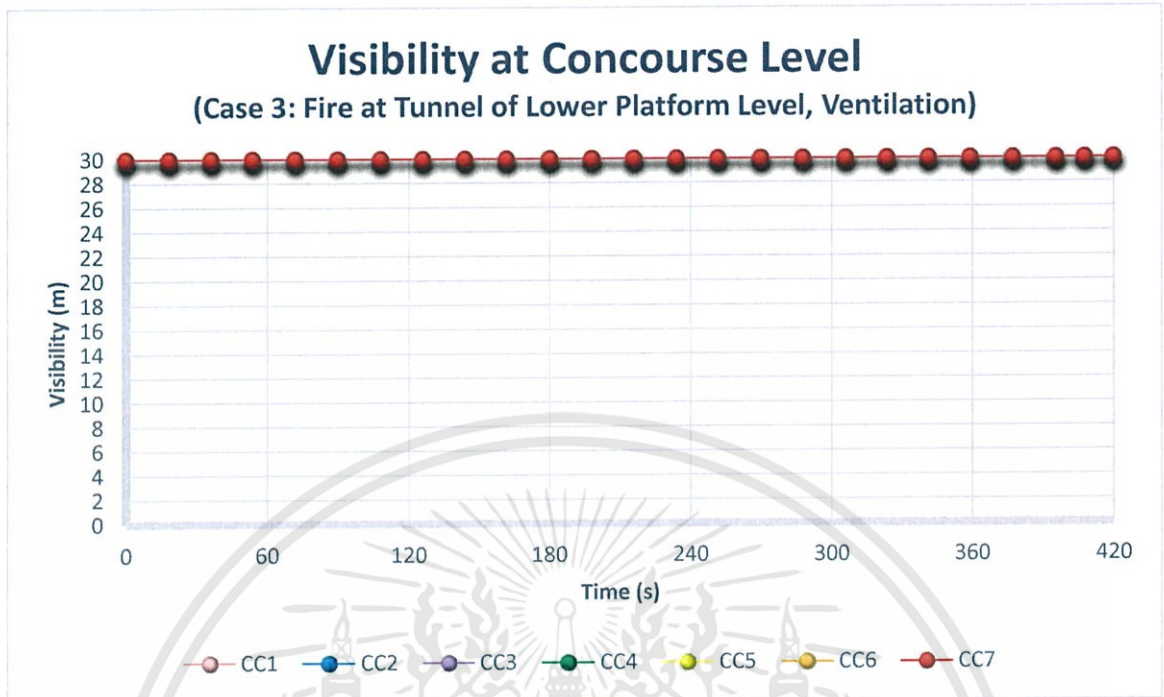
รูปที่ 4.68 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Upper Platform กรณีที่ 4

รูปที่ 4.69 และ 4.70 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Concourse ตำแหน่งที่ CC4 ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางระหว่างช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform และ Concourse กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6 เมตร ภายในระยะเวลา 420 วินาที

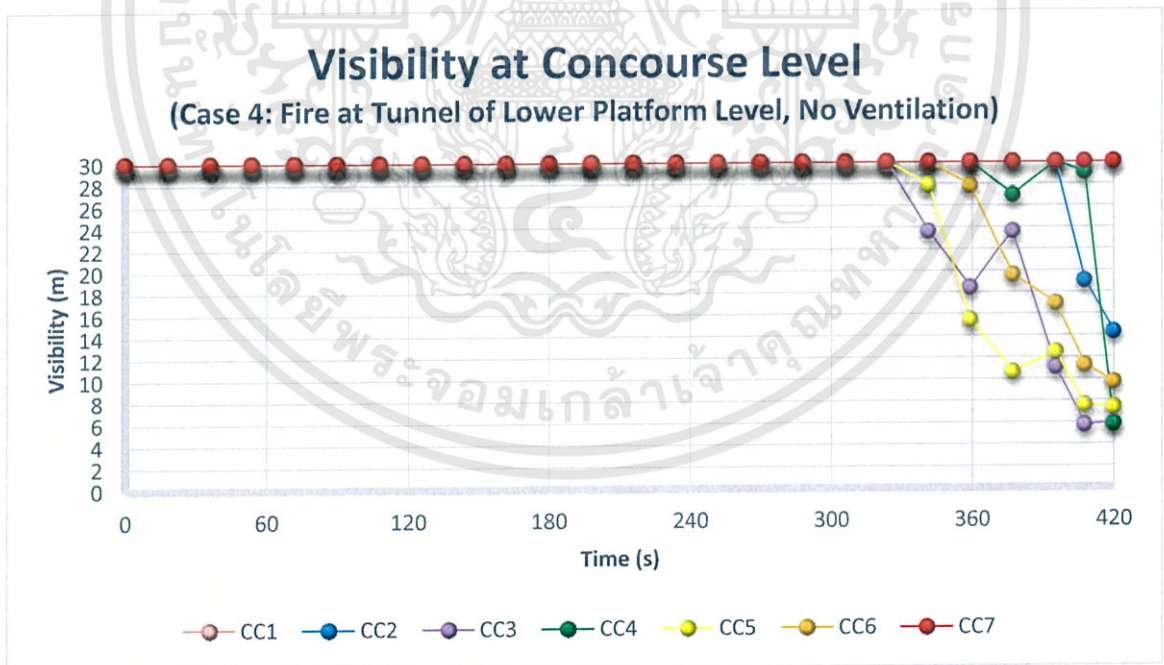
ตำแหน่งที่ CC3 และ CC5 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Upper Platform และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 เป็นระยะทาง 23 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 6-8 เมตร ภายในระยะเวลา 420 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ CC2 และ CC6 เป็นบริเวณทางเดินไปสู่บันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง CC4 ออกไปเป็นระยะทาง 46 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 10-14 เมตร ภายในระยะเวลา 420 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้

ตำแหน่งที่ CC1 และ CC7 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Commercial และอยู่ห่างจากตำแหน่ง U4 ออกไปเป็นระยะทาง 69 เมตร มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที ทั้งกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

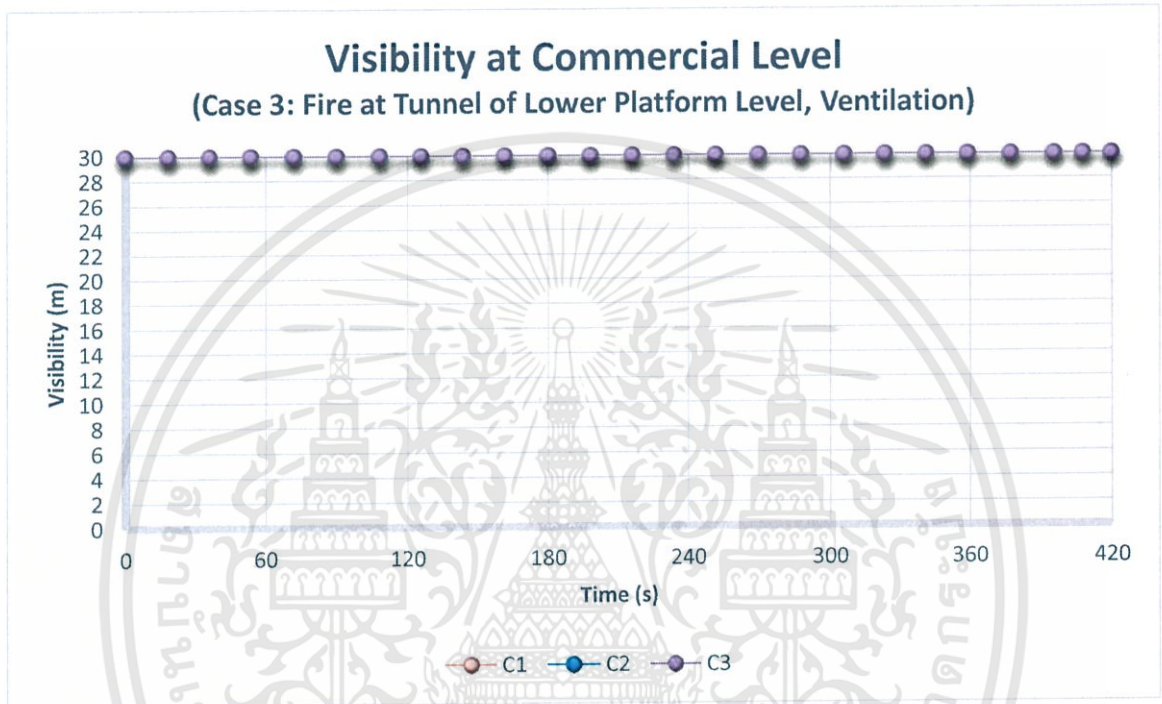


รูปที่ 4.69 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Concourse กรณีที่ 3

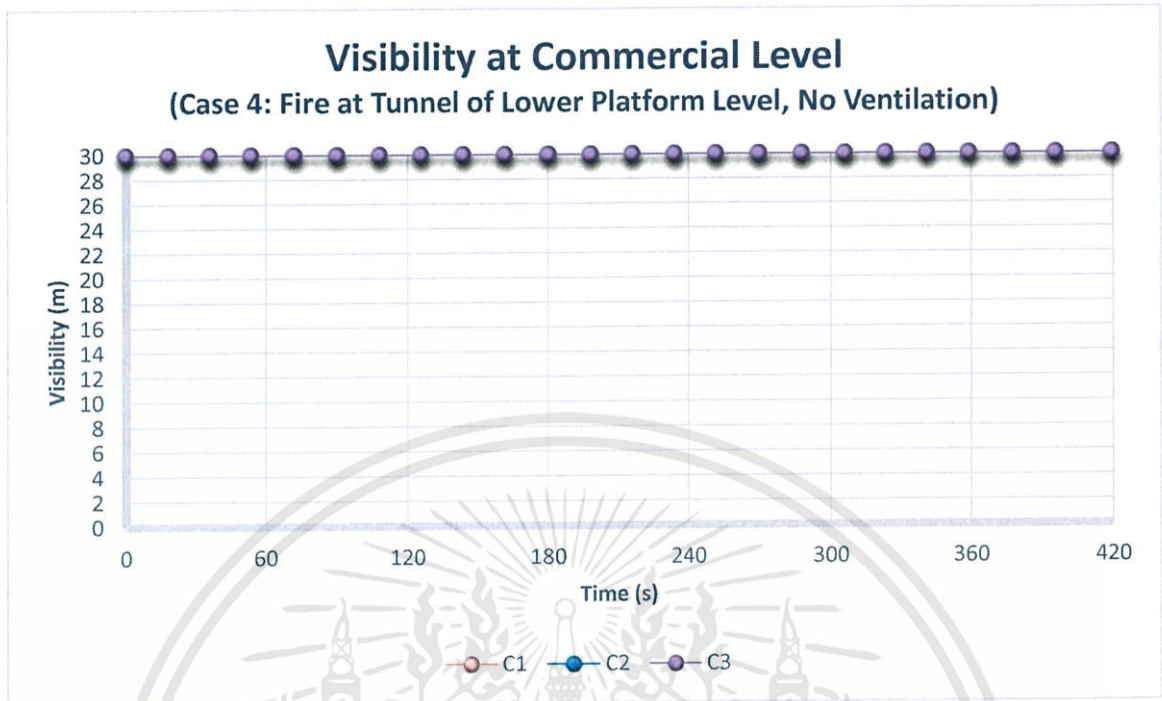


รูปที่ 4.70 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในชั้น Concourse กรณีที่ 4

รูปที่ 4.71 และ 4.72 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C1-C2 มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ แสดงว่าควันไฟ ยังเคลื่อนที่มาไม่ถึงบริเวณนี้เมื่อเวลาผ่านไป 420 วินาที ดังนั้นที่ Gate 1-3 มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร



รูปที่ 4.71 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 3



รูปที่ 4.72 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 4

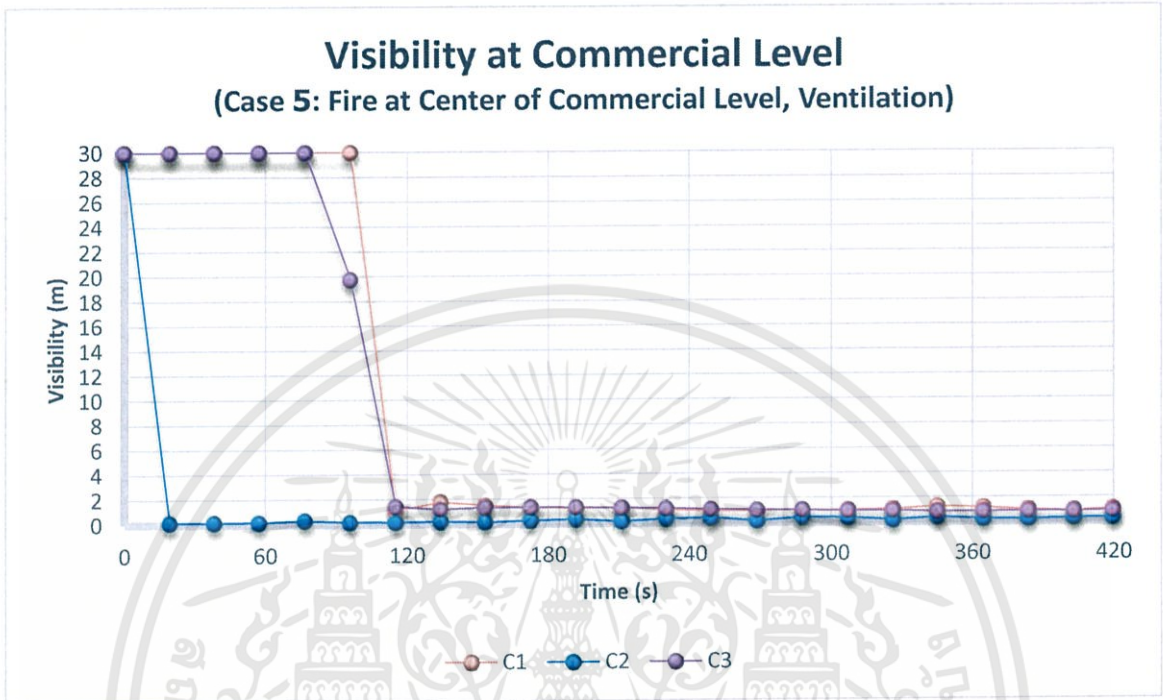
พบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศ บริเวณเส้นทางที่ใช้ทำการอพยพ เช่น ทางเดิน บันได และ บันไดเลื่อน ที่ภายในอุโมงค์ของชั้น Lower Platform สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะ 30 เมตร ออกไป 110 วินาทีเป็นอย่างต่ำ การติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับภายในสถานีชั้น Lower Platform ชั้น Upper Platform ชั้น Concourse สามารถมองเห็นที่ระยะ 30 เมตรได้เป็นเวลาอย่างน้อย 420 วินาทีที่ทำการทดลอง สำหรับชั้น Commercial และ Gate 1-3 ผลจากการติดตั้งระบบระบายอากาศไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงทัศนวิสัยการมองเห็นตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง

#### 4.4.3 กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 : การเกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณกึ่งกลางชั้น Commercial (มีระบบระบายอากาศและไม่มีระบบระบายอากาศ)

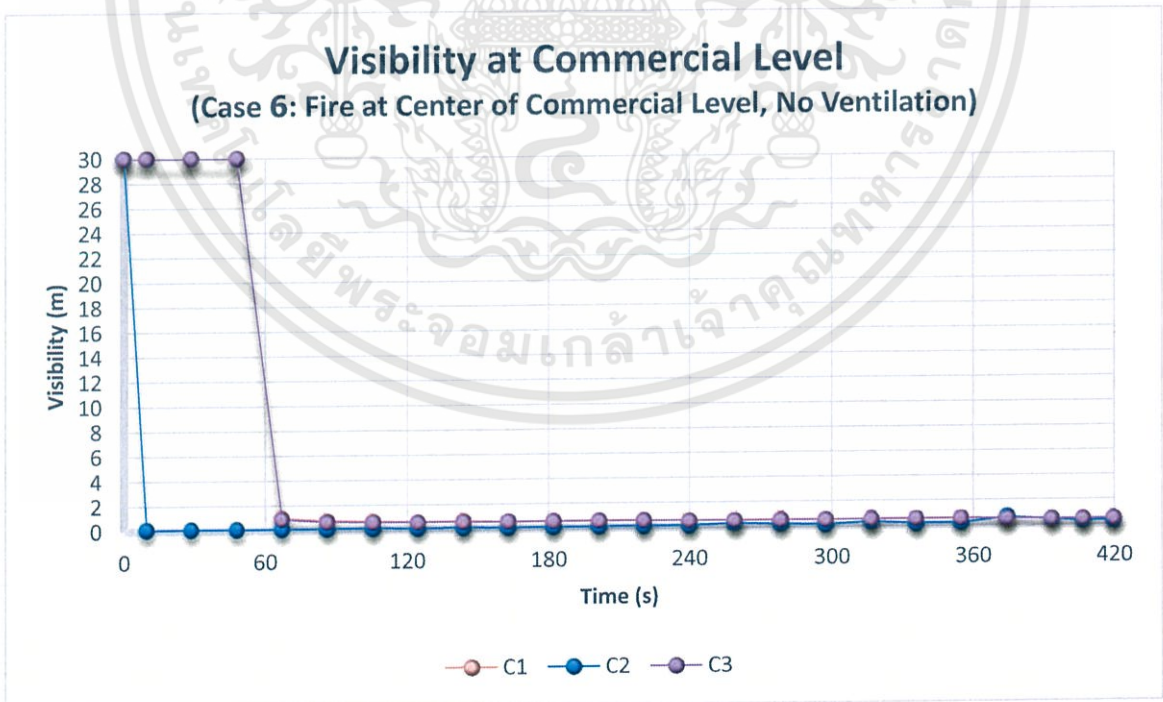
รูปที่ 4.73 และ 4.74 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณชั้น Commercial ตำแหน่งที่ C2 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ฝั่งเดียวกันกับกองเพลิงที่เกิดบริเวณชั้น Lower Platform (บริเวณทางเดินชั้น Commercial) มีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 20 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ สำหรับกรณีทั้งที่มีและไม่มีระบบระบายอากาศ

ตำแหน่งที่ C1 และ C3 เป็นตำแหน่งของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมกับชั้น Concourse และอยู่ห่างจากตำแหน่ง C2 เป็นระยะทาง 69 เมตร กรณีที่มีระบบระบายอากาศมีการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 120 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ และกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศมี

การมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 60 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ยี่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 0 เมตร ออกไป 60 วินาที

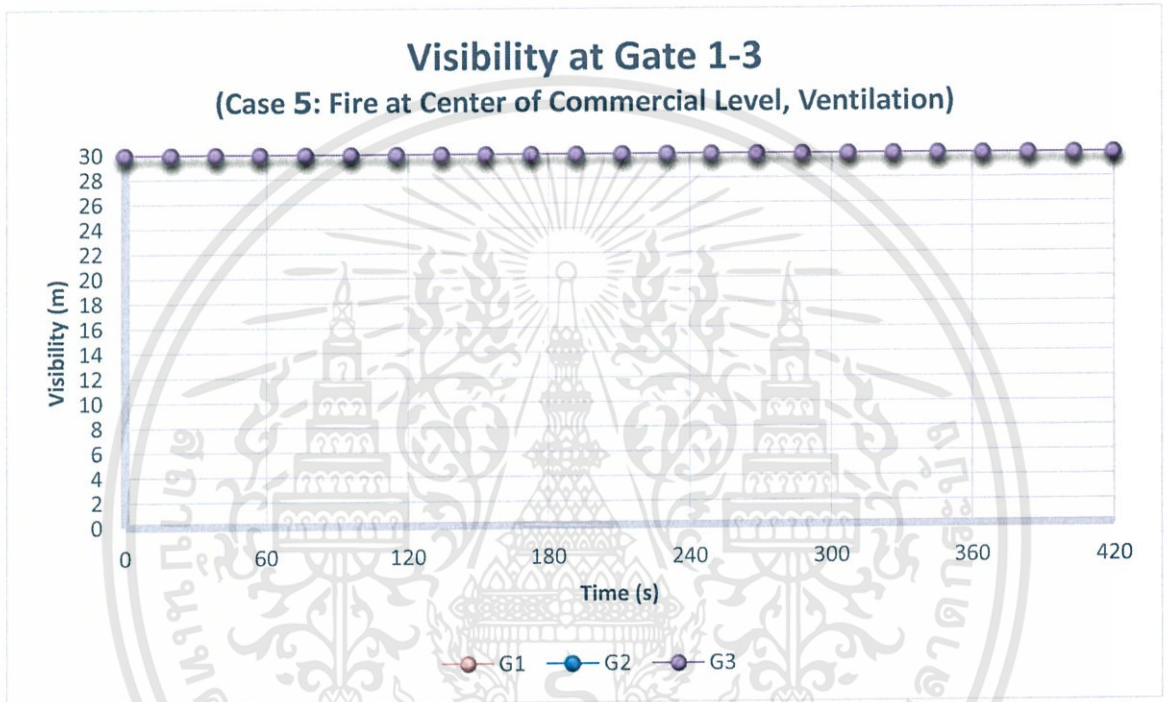


รูปที่ 4.73 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 5

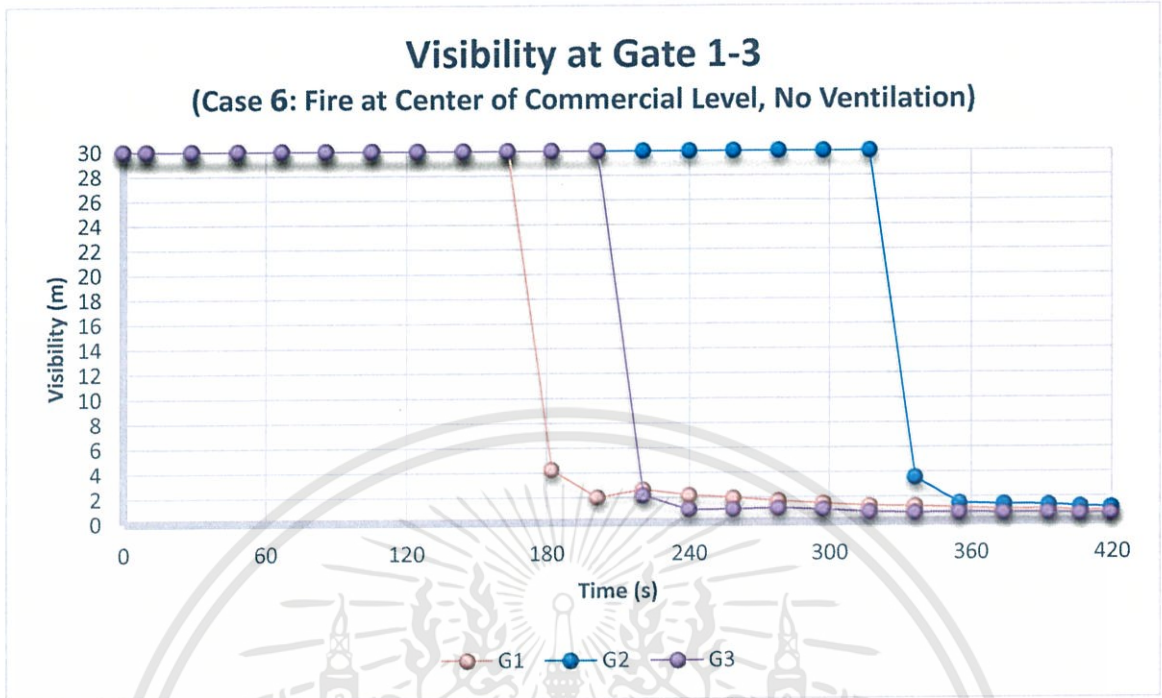


รูปที่ 4.74 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองชั้น Commercial กรณีที่ 6

รูปที่ 4.75 และ 4.76 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้ผลจากการทดลองบริเวณทางเข้าออก Gate 1-3 ที่ตำแหน่งที่ G1 (ระยะทาง 125 เมตรจากตำแหน่ง C2) G2 (ระยะทาง 180 เมตรจากตำแหน่ง C2) และ G3 (ระยะทาง 160 เมตรจากตำแหน่ง C2) กรณีที่มีระบบระบายอากาศการมองเห็นเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 420 วินาที กรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศการมองเห็นที่ Gate1 และ Gate3 เท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 240 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ Gate2 เท่ากับ 0 เมตร ภายในระยะเวลา 360 วินาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้



รูปที่ 4.75 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 5

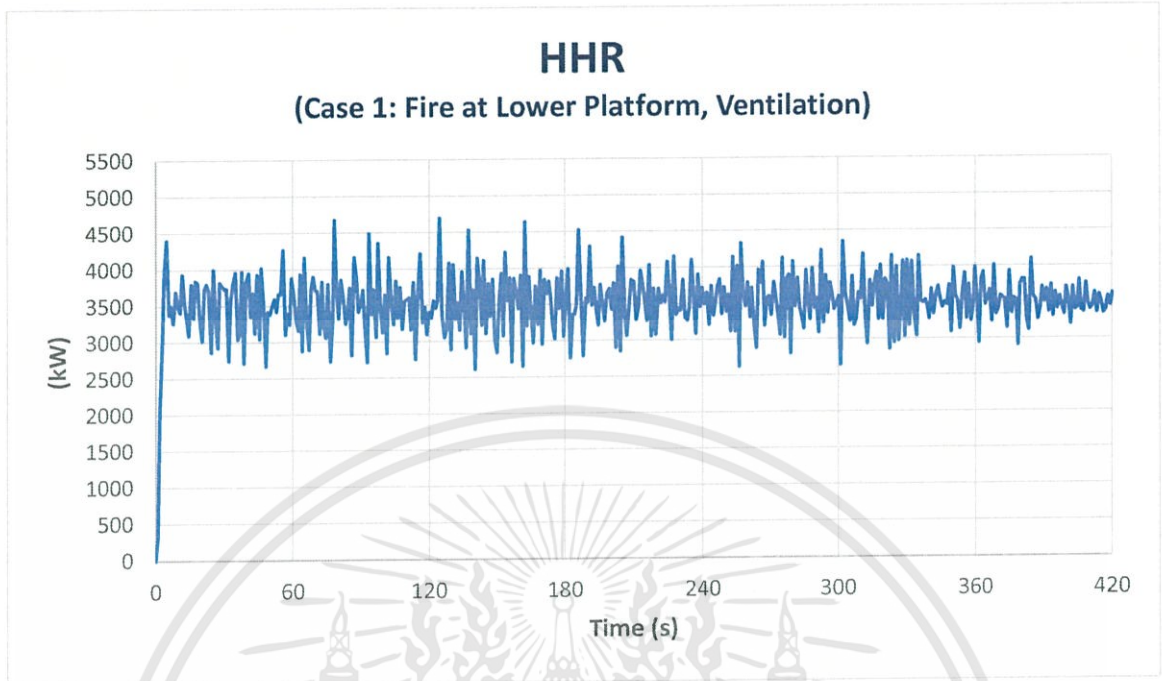


รูปที่ 4.76 แสดงผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลองบริเวณ Gate 1-3 กรณีที่ 6

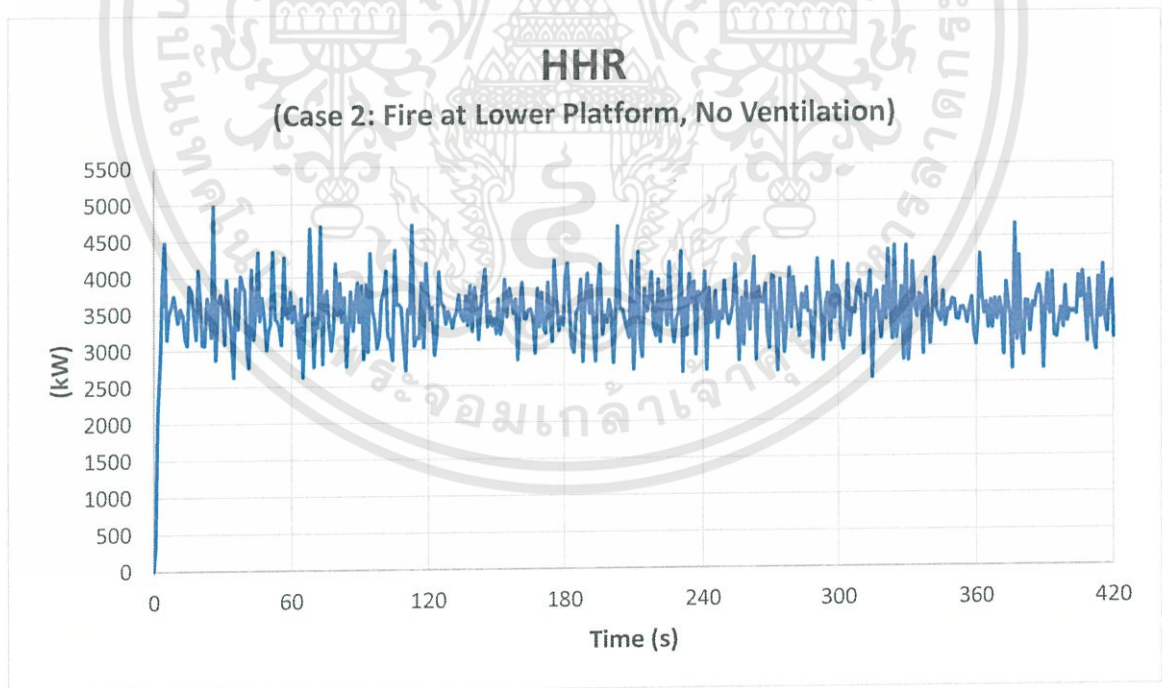
พบว่า การติดตั้งระบบระบายอากาศ บริเวณเส้นทางที่ใช้ทำการอพยพ เช่น ทางเดิน บันได และ บันไดเลื่อน ที่ชั้น commercial สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะมากกว่า 0 เมตร ออกไป 60 วินาที ผลจากการติดตั้งระบบระบายอากาศส่งผลให้บริเวณ Gate 1-3 มีทัศนวิสัยการมองเห็น 30 เมตร ภายในระยะเวลา 420 วินาทีที่ทำการทดลอง

#### 4.5 อัตราการปลดปล่อยพลังงาน

อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW ในการจำลองเหตุเพลิงไหม้ กรณีที่ 1 ถึง กรณีที่ 6 แสดงในรูปที่ 4.77 ถึง 4.82



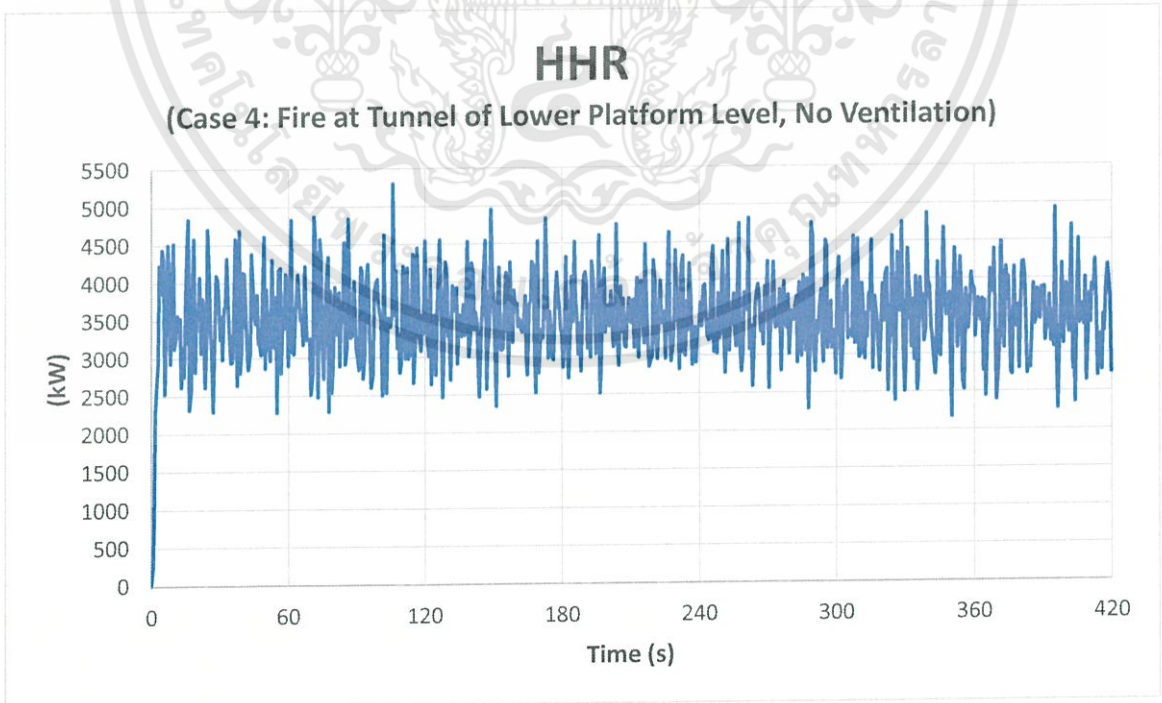
รูปที่ 4.77 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 1



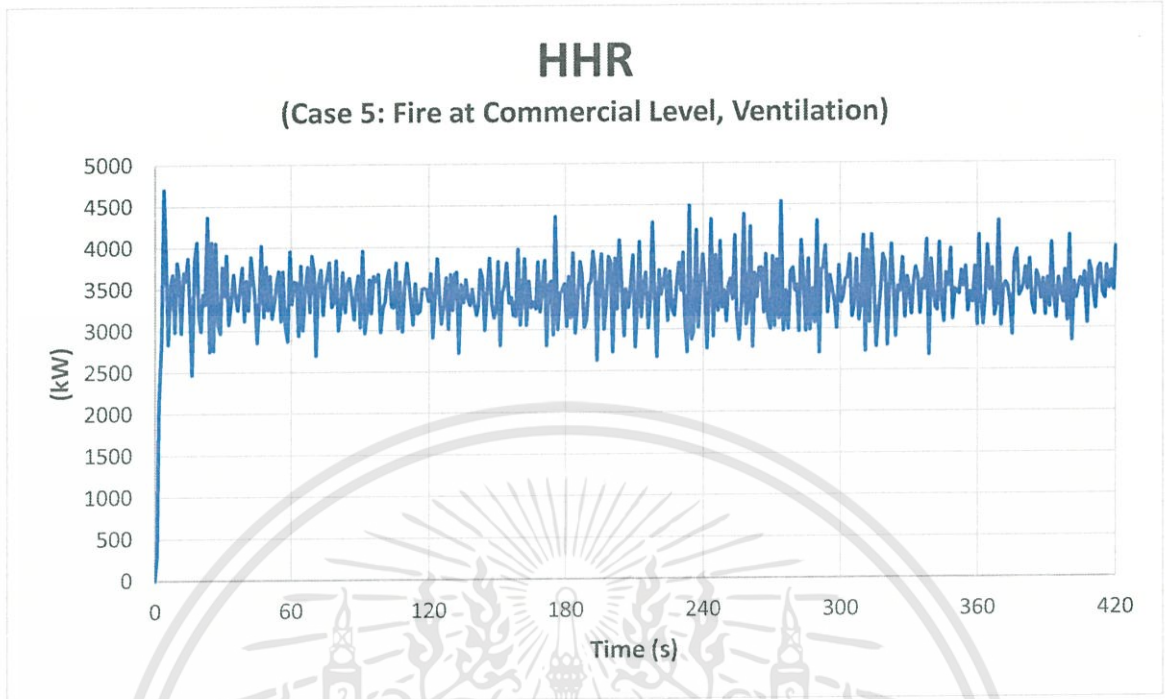
รูปที่ 4.78 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 2



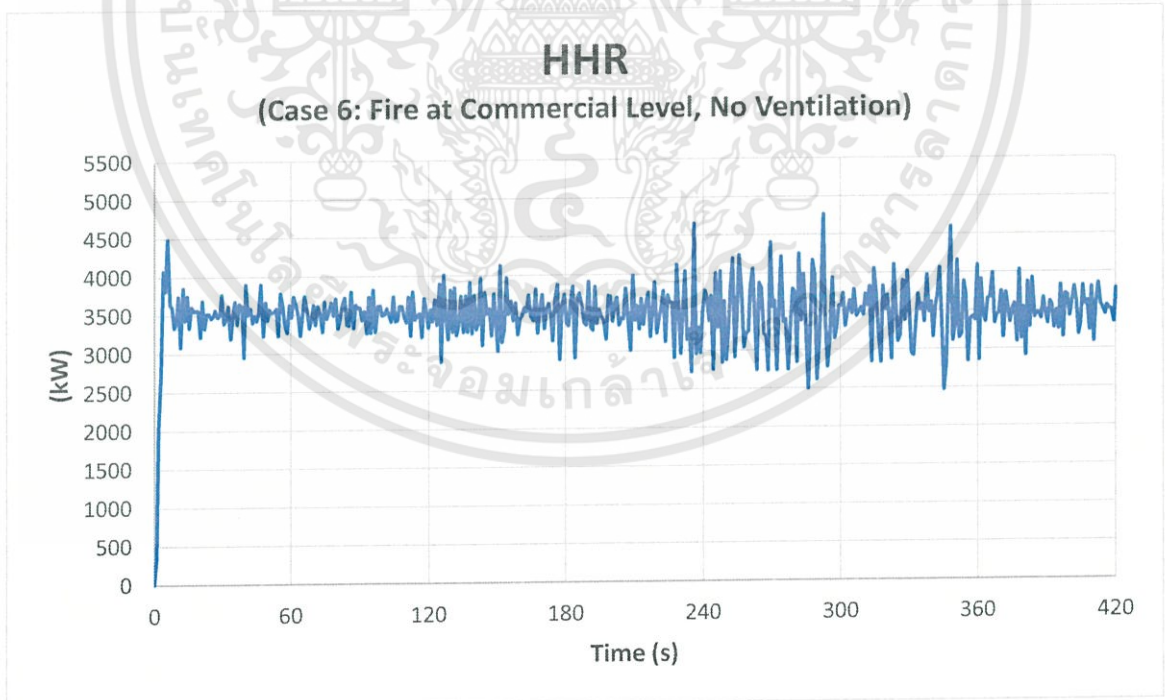
รูปที่ 4.79 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 3



รูปที่ 4.80 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 4



รูปที่ 4.81 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 5



รูปที่ 4.82 อัตราการปลดปล่อยพลังงานของกองเพลิงขนาด 7 MW กรณีที่ 6

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการจำลองพบว่าการติดตั้งระบบระบายอากาศ สามารถลดอุณหภูมิบริเวณกองเพลิงได้ 10.58-48.33% บริเวณทางเดิน บันไดและบันไดเลื่อนที่สามารถทำการอพยพได้มีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 7 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ สำหรับทุกกรณีอุณหภูมิลดลงจากกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ 2.34-58.33% ประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ชั้น Lower Platform

ผลของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในแบบจำลอง หลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ สามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณกองเพลิงได้ 14.20-62.17% บริเวณทางเดิน บันไดและบันไดเลื่อนที่สามารถทำการอพยพได้มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยไม่เกิน 100 ppm ภายในระยะเวลา 7 นาที หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งอาจทำให้ปวดศีรษะเล็กน้อยแต่ยังคงสติและทำการอพยพได้ สำหรับทุกกรณีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงจากกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ 16.22-100% ประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ชั้น Lower Platform

ผลของทัศนวิสัยการมองเห็นภายในแบบจำลอง หลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้ที่ระยะ 5 เมตรขึ้นไป (ซึ่งเป็นระยะที่สามารถมองเห็นป้ายสัญลักษณ์ต่างๆได้อย่างชัดเจน) บริเวณทางเดิน บันไดและบันไดเลื่อนที่สามารถทำการอพยพได้ออกไปเฉลี่ย 2 นาทีเป็นอย่างต่ำ ยกเว้นบริเวณทางเดินของชั้น Commercial ที่เชื่อมไปสู่ทางเดินเข้าออกที่สามารถยื่นระยะเวลาการมองเห็นได้เพียง 1 นาทีเท่านั้น ประสิทธิภาพสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับเหตุการณ์เพลิงไหม้ภายในอุโมงค์ชั้น Lower Platform

จากแบบจำลองพบว่าพฤติกรรมการไหลของควันในกรณีติดตั้งระบบระบายอากาศ มีการไหลแบบปั่นป่วนที่บริเวณช่องเปิด โดยบริเวณที่เห็นได้ชัดเจน คือ บริเวณชั้น Concourse ที่อยู่ระหว่างช่องเปิดของบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Lower Platform กับชั้น Concourse ในกรณีที่ 1 รวมทั้งบริเวณช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนที่เชื่อมระหว่างชั้น Concourse กับชั้น Commercial และบริเวณใกล้เคียงในกรณีที่ 5 เนื่องจากมี Air Supply Fan ที่ทำหน้าที่อัดอากาศดีเข้ามาทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของควันมากขึ้น ดังนั้นในกรณีที่มีระบบระบายอากาศ บริเวณดังกล่าวจะมีค่าทัศนวิสัยการมองเห็นลดลงเร็วกว่ากรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์สะสมในปริมาณมาก

ดังนั้นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และทัศนวิสัยการมองเห็นจึงมีผลต่อการอพยพของผู้โดยสารมากกว่าผลของอุณหภูมิ การติดตั้งระบบระบายอากาศสามารถชะลอการเคลื่อนที่ของควันได้ ทำให้ผู้โดยสารมีเวลาในการอพยพเพิ่มขึ้นและสามารถอพยพได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 การไหลของควันบริเวณชั้น Commercial ลึกลงที่ปลายทางเข้าออกของสถานีเท่านั้น ยังไม่รวมทางเดินขึ้นไปยังชั้นถนน เนื่องจากข้อจำกัดบางประการของโปรแกรมจึงต้องทำการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อความเหมาะสม
- 5.2.2 จากแบบจำลองเหตุการณ์เพลิงไหม้ทุกกรณี ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ยังไม่ทำให้ผู้โดยสารเสียชีวิตในทันที แต่ในความเป็นจริงอาจจะมีผู้โดยสารตกค้างในสถานีเป็นจำนวนมากและเป็นเวลานาน ดังนั้นขณะเกิดเหตุจึงมีโอกาสมือโดยสารจะหมดสติและเสียชีวิตได้
- 5.2.3 ลำดับชั้นการทำงานของระบบระบายอากาศอาจไม่สมจริงมากนัก เนื่องจากระบบทำงานทันทีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งในความเป็นจริงจะไม่ใช่เช่นนั้น แต่สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้พิจารณากรณีเหตุการณ์ที่เลวร้ายที่สุด
- 5.2.4 การติดตั้งแผงกั้นควัน (Smoke Barrier) บริเวณช่องเปิดของบันไดและบันไดเลื่อนสามารถชะลอการไหลและกักเก็บควันไม่ให้เคลื่อนไปชั้นที่สูงกว่าได้ดียิ่งขึ้น
- 5.2.5 การศึกษาการจำลองเพลิงไหม้และการอพยพบริเวณกึ่งกลางอุโมงค์ระหว่างสถานีเป็นกรณีศึกษาที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก
- 5.2.6 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการไหลของควัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และทัศนวิสัยการมองเห็น สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการทำแผนอพยพ และสามารถต่อยอดกับโปรแกรมจำลองการอพยพอื่นๆ ได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ทักซิณ ตันตีไพจิตร. “เทคโนโลยีแจ้งเหตุเพลิงไหม้ในอุโมงค์ใต้ดิน.” นิตยสาร TEMCA. ฉบับที่ 21, กุมภาพันธ์-เมษายน 2558. หน้า 77-82.
- [2] “King's Cross fire.” [Online]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/King%27s\\_Cross\\_fire](https://en.wikipedia.org/wiki/King%27s_Cross_fire). 2017.
- [3] “ไฟฟ้าลัดวงจรที่สถานีรถไฟใต้ดินมอสโก.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.manager.co.th/Around/ViewNews.aspx?NewsID=9560000067635>. 2560.
- [4] NFPA. “NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.” 2007.
- [5] NFPA. “NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting.” 2007.
- [6] J.G. Nielsen. “Validation Study of Fire Dynamics Simulator.” Master’s Thesis of Department of Energy Technology, Aalborg University. 2013.
- [7] สุรชัย วัฒนดิเรก. “การจำลองควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.” วิทยานิพนธ์ปริญญา-มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553.
- [8] J.G. Quintiere and B.S. Grove. “A unified analysis for fire plumes” *Proceeding of the 27<sup>th</sup> Symposium on Combustion*, 1998. pp 2757-2766.
- [9] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk and K. Overholt. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User’s Guide*. Gaithersburge, MD. : National Institute of Standards and Technology. 2008.
- [10] E. Cui and W. K. Chow. “Numerical Studies on Smoke Filling Process in an Airport Terminal.” *Journal of Architectural Engineering*. September 2011. pp 71-79.
- [11] ชัยพฤกษ์ สุฤทธิกุล. “การศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันเนื่องจากเพลิงไหม้ภายในโรงไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.” วิทยานิพนธ์ปริญญา-มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] เกษมศานต์ ปทุมรักษ์. “การเปรียบเทียบอุณหภูมิของควันและความสูงของห้องควันไฟในการจำลองเพลิงไหม้ของอาคารประเภทอันตรายพิเศษด้วยโปรแกรม CFAST กับ FDS.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553.
- [13] Y. Oka, O. Sugawa, T. Imamura, and Y. Takeishi. “Correlation of Temperature Rise and Velocity along an Inclined Fire Plume Axis in Crosswinds.” *Fire Safety Journal*. No.3, 2008. pp. 391-400.
- [14] X.P. Jiang, H.Y. Ji, Z.S. Xu and X.L. Yang. “Numerical Simulation of Smoke Flow Controlling in Railway Shield Tunnel.” *Geotechnical Special Publication.* No. 221, 2011. pp. 113-120.
- [15] วีรุตม์ หงษ์ทอง และ สุรชัย รดาการ. “การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูงอาคารนวัตกรรมการจัดการและการท่องเที่ยวมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.” *วิศวกรรมสาร มก.* ปีที่ 28, ฉบับที่ 92, 2558. หน้า 17-28.
- [16] D. Swenson. “Smoke Visibility and Obscuration in PyroSim.” [Online]. Available : <https://www.thunderheadeng.com/2017/06/smoke-visibility-and-obscuration-in-pyrosim/>. 2017.
- [17] ห้างหุ้นส่วน เอ.เจ.โพลีเมอร์ แอนด์ ซัพพลาย จำกัด. “คุณสมบัติของ โพลียูรีเทน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaipurchasing.com/article/p-581>. 2560.
- [18] D. Swenson. “Updated FDS Combustion and Fuel Composition Calculators.” [Online]. Available : <https://www.thunderheadeng.com/2015/09/updated-fds-combustion-and-fuel-composition-calculators/>. 2017.
- [19] วิชัย ลักษณะนกร และธงชัย ดิวิทยา. “การระบายอากาศสำหรับอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.” *สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศฯ บทความวิชาการ.* ฉบับที่ 6, พฤศจิกายน 2544, หน้า 189-194.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

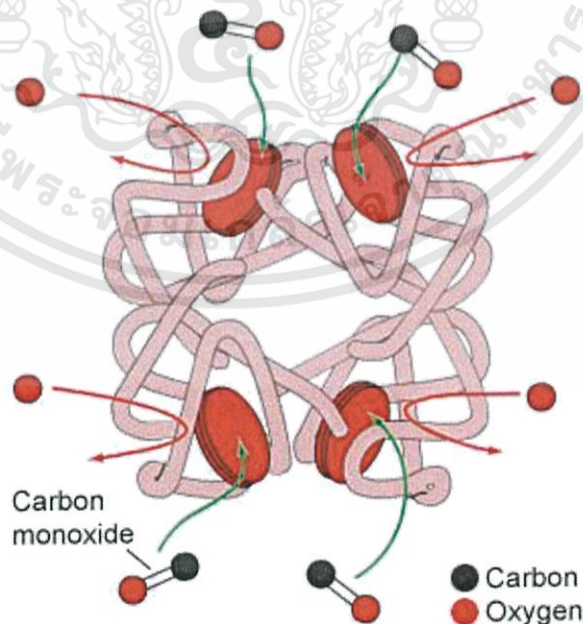
- [20] W. W. Yuen and W. K. Chow. “A New Method for Selecting the Design Fire for Safety Provision.” [Online]. Available : <https://www.fvcgeography.wordpress.com/the-restless-atmosphere/clouds/>. 2017.
- [21] เกษตรศาสตร์. “โครงการรถไฟฟ้ามหานคร (MRTA) สายเฉลิมรัชมงคล.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://pe.eng.ku.ac.th/files/semimar/2009/sitegroup6/CaseStudy.html>. 2560.
- [22] Geography @ Finn Valley College. “Wind & Ocean currents.” [Online]. Available : <https://www.fvcgeography.wordpress.com/the-restless-atmosphere/clouds/>. 2017.
- [23] “ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.orangeth.com/GasArticles/Carbon-Monoxide-ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.html>. 2560.
- [24] J. J. McGrath. “The Effects of Carbon Monoxide on the Heart: An In Vitro Study.” “Pharmacology Bwchemtstry & Behawor.” Vol. 21, 1984. pp. 99-102.
- [25] Jutarut DPM. “ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์: ก๊าซอันตรายที่มองไม่เห็น.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/124-ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์-ก๊าซอันตรายที่มองไม่เห็น>. 2560.
- [26] ภิญญาภรณ์ ชาติการุณ. “ระบบการป้องกันอัคคีภัยและระบบความปลอดภัยของ รฟม.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.technologymedia.co.th/articledetail.asp?arid=510&pid=75>. 2560.

## ภาคผนวก ก

### อันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ [23]

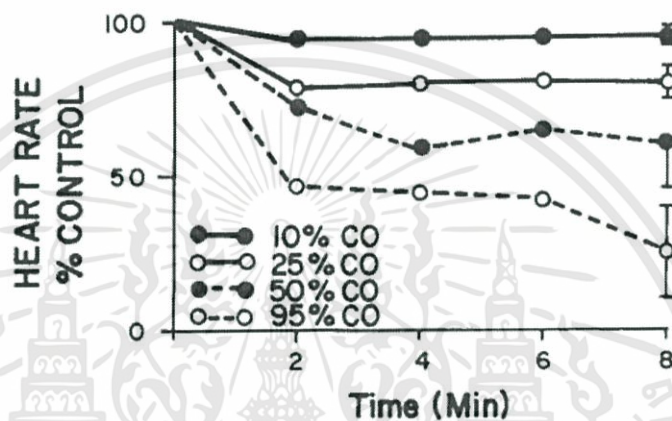
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีสูตรทางเคมีประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนอย่างละ 1 อะตอมได้เป็น CO คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่น 0.97 ซึ่งเบากว่าอากาศ ความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่ำและสามารถปะปนอยู่ในอากาศได้นาน 1-2 เดือน จัดเป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ทำให้เข้าสู่ร่างกายได้โดยที่เราไม่รู้ตัวและเมื่อก๊าซชนิดนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้โดยจะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200-250 เท่า แสดงดังรูปที่ ก-1 ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกายลดน้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย สมองขาดออกซิเจน และถ้าได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมากอาจทำให้ร่างกายเกิดอาการขาดออกซิเจนเฉียบพลันถึงขั้นเสียชีวิตได้

ในบรรยากาศที่เราหายใจอยู่นั้นอาจมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่บ้าง แต่มากบ้างน้อยบ้างแตกต่างกันออกไป อย่างเช่น บริเวณอากาศปกติอาจจะมีประมาณ 0.1 ppm (parts per million) จนถึง 5 ppm หรือแม้กระทั่งอาจจะมีถึง 15 ppm ในกรณีที่เราอยู่ใกล้สิ่งที่มีการเผาไหม้ เช่น กำลังทำการหุงต้มอาหารในบ้าน แต่ถ้าเราอยู่ในการจราจรหนาแน่นอย่างเช่น เมืองหลวงที่มีรถติดอย่างเช่น กรุงเทพฯ หรือ เชียงใหม่ อาจจะมีพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 100-200 ppm หรือถ้ามาจากปล่องไฟที่มีการเผาไหม้อาจมากถึง 5,000-7,000 ppm



รูปที่ ก-1 ภาพจำลองการจับเซลล์เม็ดเลือดแดงของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ [23]

นอกจากนี้จากงานวิจัยของ JAMES J. McGRATH ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับผลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อระบบหัวใจในหนูสายพันธุ์ Sprague Dawley พบว่าหลังจาก 8 นาทีผ่านไป อัตราการเต้นหัวใจของหนูมีค่าลดลงเมื่อได้รับการฉีดสารละลายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่กระแสเลือด และเมื่อระดับความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดต่ำลงแสดงผลการทดลองดังรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 ผลของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่ออัตราการเต้นหัวใจของหนู [24]

ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ในระดับที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังนี้

- ระดับความเข้มข้น 50 ppm ถึง 200 ppm อาการ ปวดศีรษะเล็กน้อยและอ่อนเพลีย
- ระดับความเข้มข้น 200 ppm ถึง 400 ppm อาการ คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียนศีรษะอย่างรุนแรง และอาจถึงขั้นเป็นลม
- ระดับความเข้มข้นประมาณ 1,200 ppm อาการ หัวใจเต้นเร็วขึ้นผิดปกติ และเริ่มเต้นผิดจังหวะ
- ระดับความเข้มข้นประมาณ 2,000 ppm อาการ อาจถึงขั้นหมดสติ และอาจถึงเสียชีวิต
- ระดับความเข้มข้นประมาณ 5,000 ppm อาการ อาจทำให้เสียชีวิตภายในไม่กี่นาที แต่อาจจะรอดชีวิตถ้ารีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณอับอากาศมาสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ หรือมีออกซิเจนเพียงพอ

วิธีการปฐมพยาบาลเบื้องต้นสำหรับผู้ได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในขั้นแรกให้รีบเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังสถานที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ แต่ถ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ให้รีบทำการเปิดหน้าต่างหรือประตู เพื่อให้มีอากาศหมุนเวียนเข้าออกได้สะดวกทั้งนี้ต้องกระทำโดยเร็วที่สุด แต่หากเห็นว่าผู้ป่วยหายใจขัดหรือหยุดหายใจ ต้องรีบผายปอด แล้วรีบนำส่งโรงพยาบาลหรือหากโทรเรียกให้รถโรงพยาบาลมารับ ควรแจ้งให้มีการนำเครื่องช่วยหายใจมาด้วย [25]

## ภาคผนวก ข

### การจำลองการควบคุมควันภายใต้การทำงานในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน [26]

การดำเนินงานต่างๆ ของระบบจะต้องขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการเกิดเพลิงไหม้ ดังนั้นการควบคุมควันจึงต้องกำหนดวิธีการทำงานของพัดลมต่างๆ เพื่อให้ได้วิธีการควบคุมควันที่เหมาะสม หลักเกณฑ์สำคัญ คือ ผู้โดยสารจะต้องถูกอพยพไปในทิศทางตรงกันข้ามกับจุดเกิดเหตุหรือกลุ่มควัน โดยจุดรองรับผู้โดยสารที่อพยพต้องมี Fresh Air และมีการ Return Air ทั้งนี้ ได้ทำการ Simulate ในส่วนของ Ventilation Fan หรือพัดลมระบายอากาศไว้ 3 Mode คือ Mode (1) Normal Mode เป็นการเดินรถไฟฟ้าตามปกติ มีลักษณะ เหมือน Natural Ventilation โดยใช้หลัก Piston Effect เป็นการระบายความร้อนออกจากอุโมงค์ โดยรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ส่วน Mode (2) เรียกว่า Congested Mode จำลองการทำงานในขณะที่มี Traffic Busy จำนวนมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการเดินรถไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง โดยเฉพาะในช่วง Peak Hour จะต้องจัดให้มี Head Way การเดินรถไฟฟ้าสองนาที่/ขบวน ขณะที่การเดินรถในเวลาปกติ Head Way จะอยู่ที่ประมาณ 4-5 นาที่/ขบวน โดย Congested Mode จะมี Linear Heat Detector หรือเคเบิลตรวจจับความร้อน และส่งสัญญาณไปให้ระบบควบคุมพัดลมโดยอัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิมี Maximum ที่ 45 องศาเซลเซียส สุดท้าย Mode (3) คือ Emergency Mode การระบายและควบคุมควันในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน การทำงานของ Emergency Mode ต้องอาศัย Linear Heat Detector เป็นตัวตรวจจับสัญญาณความร้อน เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินพัดลมระบายอากาศในอุโมงค์จะทำงานที่ความเร็วรอบสูง และมีการส่งการผ่านคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งแต่ละอุโมงค์ได้มีการออกแบบ เพื่อเตรียมเส้นทางอพยพที่ใกล้ที่สุด โดยกำหนดทิศทางของลมให้เป็นทิศทางที่ตรงกันข้ามกับจุดเกิดเหตุ มีความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 2.5 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันมิให้เกิดสภาวะ Back Layering ดังนั้น การทำงานใน Emergency Mode จึงต้องพิจารณาถึงความร้อนและความเร็วของลมด้วย